

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Univ. Prof. Dr. med. W. Mutschler

**Quantifizierung funktioneller Parameter zur  
Verbesserung physiotherapeutischer  
Behandlungskonzepte nach komplexen  
Korrekturoperationen mit voll  
implantierbaren Distraktionsmarknägeln an  
Ober- und Unterschenkel**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von  
Anabelle Janssen  
aus Brügge/Belgien  
2009

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. R. Baumgart
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Angela Schuh Priv. Doz. Dr. Stefan Piltz Priv. Doz. Dr. Peter Biberthaler
Dekan:	Herr Prof. Dr. Dr. h. c. Maximilian Reiser, FACR, FRCR
Tag der mündlichen Prüfung:	23.04.2009

## Inhalt

1.	Einleitung.....	5
1.1.	Indikation zu komplexen Korrekturoperationen und Distraktionen.....	7
1.1.1.	Ätiologie der Beinlängendifferenz.....	7
1.1.2.	Indikationen zur operativen Beinverlängerung.....	10
1.2.	Apparative Umsetzung der Kallusdistraktion.....	11
1.3.	Kallusdistraktion mit dem voll implantierbaren Marknagelsystem (Fitbone®).....	12
1.4.	Bedeutung der Physiotherapie bei der Kallusdistraktion.....	15
2.	Theoretische Grundlagen und Literaturübersicht.....	16
2.1.	Physiologische Anpassungen während einer Verlängerung.....	16
2.2.	Übersicht über die wichtigsten physiotherapeutischen Therapieoptionen.....	17
2.3.	Bisherige Therapiekonzepte.....	21
2.4.	Komplikationsmöglichkeiten.....	22
3.	Zielsetzung und Fragestellung.....	23
4.	Material und Methoden.....	25
4.1.	Studiendesign.....	25
4.2.	Patientenauswahl.....	26
4.3.	Untersuchungsmethoden.....	27
4.3.1.	Präoperative Untersuchung.....	27
4.3.2.	Verlaufsbeobachtung.....	37
4.4.	Einteilung der Patienten in Gruppen.....	37
4.5.	Zusammenarbeit mit Physiotherapie.....	37
4.6.	Ambulante Therapiefrequenz der Patienten.....	38
4.7.	Auswertung.....	38
5.	Ergebnisse.....	42
5.1.	Veränderungen während der Verlängerungsbehandlung.....	42
5.1.1.	Veränderung der Gelenkbeweglichkeit.....	42
5.1.2.	Veränderung der Muskeldehnfähigkeit.....	50
5.1.3.	Veränderung des Muskeltonus.....	55
5.1.4.	Auftreten einer Schwellung.....	60
5.1.5.	Auftreten von Schmerzen und Beschwerden.....	63
5.2.	Vergleich der Beweglichkeitsveränderung mit äußeren Faktoren.....	64
5.2.1.	Vergleich mit empfundenen Schmerzen.....	64
5.2.2.	Vergleich mit der Verlängerungsstrecke.....	65
5.2.3.	Vergleich mit Alter und Geschlecht des Patienten.....	66
5.2.4.	Vergleich mit der Ursache der Beinverkürzung.....	68
5.2.5.	Vergleich mit präoperativer Beweglichkeit.....	69
5.2.6.	Vergleich von Muskeltonus und Muskeldehnfähigkeit.....	70
5.3.	Zusammenarbeit mit der Physiotherapie.....	71

5.3.1.	Resonanz auf Therapieverlaufsbögen .....	71
5.3.2.	Angewandte Therapieverfahren und Therapieziele durch niedergelassene Therapeuten .....	72
6.	Diskussion .....	77
6.1.	Veränderungen während der Verlängerungsbehandlung .....	77
6.1.1.	Veränderung der Gelenkbeweglichkeit .....	78
6.1.2.	Veränderung der Muskeldehnfähigkeit.....	79
6.1.3.	Veränderung des Muskeltonus.....	81
6.1.4.	Auftreten einer Schwellung .....	81
6.1.5.	Auftreten von Schmerzen und Beschwerden .....	82
6.2.	Vergleich von Beweglichkeitsveränderungen mit äußeren Faktoren .....	83
6.2.1.	Vergleich der Verlängerungsstrecke mit empfundenen Schmerzen.....	83
6.2.2.	Vergleich mit der Verlängerungsstrecke .....	84
6.2.3.	Vergleich mit Alter und Geschlecht des Patienten .....	85
6.2.4.	Vergleich mit der Ursache der Beinverkürzung.....	86
6.2.5.	Vergleich mit präoperativer Beweglichkeit .....	87
6.2.6.	Vergleich von Muskeltonus und Muskeldehnfähigkeit .....	88
6.3.	Zusammenarbeit mit der Physiotherapie.....	88
6.3.1.	Resonanz auf Therapieverlaufsbögen .....	88
6.3.2.	Angewandte Therapieverfahren und Therapieziele durch niedergelassene Therapeuten .....	89
6.4.	Patientenkollektive mit hohem Risiko für funktionelle Einschränkungen .....	90
6.5.	Zu erwartende funktionelle Einschränkungen während der Verlängerungsbehandlung .....	90
6.6.	Möglichkeiten eines allgemeingültigen Behandlungsschemas .....	92
6.7.	Erfahrungen und Empfehlungen.....	92
7.	Zusammenfassung.....	93
8.	Lebenslauf .....	96
9.	Literatur .....	98
10.	Danksagung .....	105
11.	Anhang .....	106
11.1.	Untersuchungsbogen.....	106
11.1.1.	Präoperativer Bogen.....	106
11.1.2.	Verlaufsbogen .....	106
11.2.	Nachbehandlungsschema .....	106
11.3.	Therapieverlaufsbogen .....	106

# 1. Einleitung

Erste Beobachtungen, dass das Längenwachstum der Knochen durch Dehnung gesteigert werden kann, gehen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück (Langenbeck 1869). Auch der Italiener Codivilla berichtete 1905 von Verlängerungsprozeduren an frakturierten Extremitäten (Codavilla 1905). Allerdings war das Verfahren noch weitgehend unkontrolliert und riskant. 1923 publizierte der Berliner Arzt August Bier seine Erfahrungen mit der operativen Oberschenkelverlängerung. Er erkannte bereits die große Bedeutung des langsamen, kontinuierlichen Distraktionsverlaufes. Dabei beschrieb er auch die Wichtigkeit des Frakturhämatoms, aus dem sich eine neue Art von Wachstumsfuge bildet, woraus sich dann neues Knochengewebe entwickeln kann (Baumgart 1996).

Die modernen Behandlungsmethoden verdanken ihren Ursprung Professor Gavril Abramovich Ilizarov in Kurgan/Sibirien. Mittels dünner Drähte, in Ringen um die Extremität des Patienten gespannt, durch viele Spindeln, Gelenke und Stangen miteinander verbunden, konnte Ilizarov selbst extreme Fehlstellungen korrigieren. All dies geschah ohne Einsatz von Fremdknochen mit einfachen technischen Mitteln, ohne aufwendige hochsterile Operationstrakte (Ilizarov 1988).

Das Verfahren ist nicht durch ein hartes Kriterium limitiert. Es sind die wenig dehnbaren bradytrophen Strukturen, die Subluxationen oder Kontrakturen der angrenzenden Gelenke, die die Distraktionsbehandlung begrenzen. Der Proliferation des Knochens ist bei einer kontinuierlichen Distraktion von ca. 1 mm pro Tag keine Grenze gesetzt.

Seit der politischen Öffnung des Ostens wurde die operative Kallusdistraktion stetig weiterentwickelt. Die sehr aufwendigen externen Ringfixateure, wie sie Ilizarov verwendete, sowie monolaterale externe Fixateure wurden, wenn möglich, mit einem intramedullären Nagel kombiniert (LON = lengthening over nail), was eine Reduktion der Fixateurzeit ermöglichte. Dies verbesserte deutlich den Komfort des Patienten, da es durch den externen Fixateur immer wieder zu Weichteilirritationen und Infekten kam, welche die Behandlung schmerzhaft und teilweise unerträglich machten (Baumgart 2006).

In der weiteren Entwicklung konnte durch voll implantierbare Systeme auf externe Fixateurteile vollständig verzichtet werden. Sowohl bei den mechanischen Nägeln, die durch Ratschenmechanismus verlängert werden wie der Albizzia-Nagel (Guichet 1999) und der ISKD (Paley 1990), als auch bei den voll implantierbaren motorisierten Verlängerungsmarknägeln (Baumgart 1996) ist die Haut vollständig geschlossen. Der Patient kann das Bein teilbelasten, normale Kleider anziehen, duschen oder baden.

Ebenso wie bei den externen Systemen zeigte sich auch hier, dass die physiotherapeutische Begleitung und Nachbehandlung für ein optimales Distractionsergebnis genauso wichtig ist wie die Operation selbst. Durch die gute Erreichbarkeit für die Hand des Therapeuten und die hohe Variabilität bezüglich der Therapieformen in der Behandlung der Extremitätenverkürzungen und Deformitäten ergeben sich völlig neue Therapieoptionen für die krankengymnastische Behandlung dieser Patienten.

In der Praxis ergibt sich aber ein Problem, da es sich bei der Kallusdistraction um eine vergleichsweise seltene Behandlung handelt, so dass sie wenigen, spezialisierten Zentren vorbehalten bleibt. Aufgrund der Größe des Einzugsgebietes der Patienten sind einzelne Physiotherapeuten nur selten mit der Behandlung einer Kallusdistraction konfrontiert. Nur wenige Therapeuten haben demzufolge die Möglichkeit, durch eine hohe Anzahl an Patienten, Erfahrungen zu sammeln. Daten, welche die Nachbehandlung dieser Patienten evaluieren, wurden bisher nicht erhoben, so dass man diesen Patienten keine standardisierte physiotherapeutische Begleit- und Nachbehandlung anbieten konnte. Vielmehr begab sich jeder Patient zu einem heimatnahen Therapeuten, der mit der Behandlung einer Distraction schnell überfordert war. Deshalb war es Anliegen dieser Arbeit zu beobachten, welche funktionellen Anpassungserscheinungen und Komplikationen eine Verlängerungsbehandlung nach sich zieht. Des Weiteren sollte ein möglichst allgemeingültiges Nachbehandlungsschema entwickelt werden, an dem sich in der Kallusdistraction unerfahrene Therapeuten orientieren können. Ein wichtiges Ziel war es, die Behandlung zu standardisieren, damit auch Patienten, die von unerfahrenen Therapeuten behandelt werden, ein optimales Ergebnis ihrer Distractionsbehandlung erzielen können.

## **1.1. Indikation zu komplexen Korrekturoperationen und Distractionen**

### **1.1.1. Ätiologie der Beinlängendifferenz**

#### **Angeborene oder während der Kindheit erworbene Beinlängendifferenzen**

Die Ursache von kongenitalen Beinlängendifferenzen können verschiedene Erkrankungen sein, die teilweise auch gleichzeitig auftreten. Zu dem Krankheitsbild der PFFD (proximal focal femoral deficiency) zählen die Femurhypoplasien (eine angeborene Unterentwicklung) bis hin zur Femuraplasie (vollständiges Fehlen des Femurknochens). Sie sind oft die Ursache einer vermeintlich idiopathischen Beinverkürzung. Eine Kombination des proximalen Femurdefekts mit Fehlbildung des Unterschenkels ist möglich. Eine Tibiahypoplasie und Fibulahypoplasie ist häufig mit Fußdeformitäten und geschwächter Unterschenkelmuskulatur verbunden, so dass teilweise ein Längenausgleich eine ohnehin gestörte Abrollfunktion zusätzlich behindern könnte. Bei der Aplasie von Tibia oder Fibula fehlt die mediale bzw. laterale Abstützung des Sprunggelenks, so dass eine erhebliche Varus- bzw. Valgusstellung des Fußes resultiert (Niethard, Pfeil, 2003)

Auch eine angeborene Hüft dysplasie und –luxation kann Ursache einer Beinverkürzung sein. Sowohl bei der operativen als auch bei der konservativen Therapie kann es zu einer Hüftkopfnekrose und damit zu einem Minderwuchs des proximalen Femurs kommen (Pfeil et al. 1996)

Die während der Kindheit erworbenen Beinlängendifferenzen beruhen meist auf Wachstumsstörungen und sind daher häufig im Verlauf noch zunehmend, besonders dann, wenn eine Epiphysenfuge lokal geschädigt ist. Bis zum Wachstumsabschluss kann die Verkürzung ein erhebliches Ausmaß erreichen.

Hierzu zählt man auch die tumorähnlichen Erkrankungen und Tumoren. Die fibrinöse Dysplasie ist eine Erkrankung des kindlichen Skeletts mit Fehlentwicklung des knochenbildenden Mesenchyms. Diese Erkrankung wird zu den tumorartigen Veränderungen gezählt, weil sie röntgenologisch als „Knochenzyste“ imponiert. Es kann zu einer Wachstumssteigerung, aber auch Beeinträchtigung im Bereich der Epiphysenfuge kommen (Adler 2005).

Auch die Neurofibromatose Recklinghausen kann zu generalisierten, dysplastischen Knochenveränderungen mit nachfolgender Beinlängendifferenz führen.

Bei der Enchondromatose (Morbus Ollier) finden sich multiple Enchondrome in den Diaphysen und Metaphysen verschiedener Knochen. Dies hat häufig ein ungleiches Knochenwachstum zur Folge mit zum Teil erheblichen Längendifferenzen durch Knochenverkürzung und Verbiegung (Adler 2005).

Auch maligne Knochentumoren können Beinlängendifferenzen verursachen, da sie häufig in der Nähe der Wachstumsfugen lokalisiert sind und diese dann bei der Resektion entfernt werden muss. Des Weiteren kann durch Bestrahlung maligner Tumoren im Wachstumsalter die Epiphysenfuge beeinträchtigt werden (Morscher 1972).

Weitere Ursachen für Beinlängenunterschiede sind septische (Fulminante Sepsis – kindliches Empyem, metaphysäre-diaphysäre Osteomyelitis, Tuberkulose, Arthritische Purpura) und aseptische Entzündungen (kindliche chronische Polyarthrit).

Neuroorthopädische Erkrankungen wie poliomyelitische und andere Lähmungen können durch trophische Störung zu Beinverkürzung führen. Die hierbei häufige Demineralisierung der Knochensubstanz erschwert die operative Korrektur und verlängert den Heilungsprozess (Pfeil et al. 1996).

Obwohl beim Klippel-Trénaunay-Weber-Syndrom, beim Proteussyndrom und bei der Hemihypertrophie die Pathologie im längeren Bein lokalisiert ist, werden trotzdem meistens Verlängerungskorrekturen an der gesunden, kürzeren Extremität durchgeführt, da dies häufig zu einem besseren Endergebnis führt und weniger komplikationsreich ist.

Häufige Ursache von Beinlängendifferenzen sind Traumata. Diaphysäre Frakturen bei Kindern können durch eine vermehrte Durchblutung zu übermäßigem Längenwachstum führen, aber auch einen vorzeitigen Epiphysenschluss bewirken mit konsekutivem Wachstumsstillstand.

Die am häufigsten vorkommende Beinlängendifferenz ist idiopathisch. Beinlängendifferenzen von bis zu 1 cm sind bei circa 66% der Bevölkerung vorhanden (Grill et al. 1990).

## Nach Wachstumsabschluss erworbene Beinlängendifferenzen

Ursache für nach Wachstumsabschluss entstehende Beinverkürzungen sind in erster Linie Frakturen und ihre Folgen (Defektheilung, Fehlstellungen, Pseudarthrosen, Osteitiden) oder auch Operationen (Arthrodese, Osteotomien, Endoprothesen, Resektionen).



Septische und aseptische Entzündungen wie Osteomyelitis, Tuberkulose und Arthritis purulenta können auch nach Wachstumsabschluss zu Beinlängendifferenzen führen. Ein Débridement bei entzündlichen Erkrankungen kann durch einen Knochendefekt zu einer Verkürzung führen (Debrunner 1995).

Auch Knochentumoren spielen bei der Ätiologie der erworbenen Beinlängendifferenzen nach Wachstumsabschluss eine Rolle, allerdings treten zwei Drittel aller primär aus Knochengewebe hervorgegangenen Tumoren während der pubertären Wachstumsperiode auf. Im Erwachsenenalter stehen dagegen sekundäre Tumoren (Metastasen) im Vordergrund. Aber auch benigne Tumoren können nach Resektion im Knochen einen Defekt hinterlassen und einen Beinlängenunterschied verursachen (Niethard, Pfeil 2003).

## Funktionelle Beinlängendifferenz

Fehlstellungen von Gelenken können Beinlängendifferenzen vortäuschen. Der Patient empfindet sie funktionell wie eine reelle Beinlängendifferenz, weil sie sich für die Funktion des Bewegungsapparates wie eine tatsächliche Beinlängendifferenz auswirkt. Die Ursache ist häufig ein dysplastisches oder chronisch luxiertes Hüftgelenk mit einer fixierten Beckenfehlstellung. Auch eine Hüftgelenkkontraktur oder Skoliose kann einen Beinlängenunterschied vortäuschen. Die gemessenen Beinlängen können dabei tatsächlich gleich sein, die Differenz ist durch die Beckenfehlstellung bedingt. In diesem Fall ist die Indikation für einen operativen Ausgleich der Beinlängen nur dann gegeben, wenn eine kausale Therapie nicht möglich ist. Zunächst aber sollte versucht werden, die Ursache der Differenz funktionell zu behandeln. Hüftgelenkkontraktur und Skoliose können in einem gewissen Rahmen durch physikalische Therapie positiv beeinflusst werden. Für die Korrektur der Beinlängendifferenz bei dysplastischen oder chronisch luxierten Hüftgelenken reichen meist konservative Methoden nicht aus und müssen, wenn möglich, operativ saniert werden.

## Auswirkungen von Beinlängendifferenzen

Eine Beinlängendifferenz von unter 1 cm liegt noch im Bereich des „Normalen“ und bleibt oft unbemerkt. Sogar ein Unterschied von 1 bis 2 cm wird häufig durch einen Beckenschiefstand kompensiert und zeitlebens beschwerdefrei toleriert. Auch Differenzen von mehr als 2 cm können unbemerkt bleiben, wenn sie langsam während des Wachstums entstehen und sich der Bewegungsapparat daran gewöhnt hat. Meistens machen sie sich aber durch leichtes Hinken, rasche Ermüdbarkeit, Arthrosen und Rückenschmerzen bemerkbar.

Aus einer Beinlängendifferenz resultiert ein Beckenschiefstand mit einer kompensatorischen Skoliose mit Konvexität zur kürzeren Seite. Im späteren Stadium kommt es häufig zu einer thorakozervikalen Gegenkrümmung. Eine im Wachstumsalter erworbene Beinlängendifferenz neigt zur Skolioseentwicklung, die in 90% der Fälle zu einer fixierten Fehlbildung führt (Grill 1989).

Jede Fehlstellung der Wirbelsäule bedingt eine ungleichmäßige Beanspruchung der Bandscheiben, Osteochondrose- und Osteophytenbildung an der konkaven Seite der Skoliose sowie Spondylarthrosen der Wirbelgelenke. Andere Anpassungserscheinungen sind Spitzfußstellung im kürzeren Bein oder Hüft- und Knieflexion oder Rekurvation des längeren Beines.

Beinlängendifferenzen von mehreren Zentimetern machen das Gehen und Stehen beschwerlich und müssen daher immer ausgeglichen werden (Debrunner 1995).

Nach Morscher (1972) sollte man immer bestrebt sein, die Wirbelsäule ins Lot zu bringen. Trotzdem sollte man eine Beinlängendifferenz nicht ohne exakte Analyse des Einzelfalls mit allen Mitteln korrigieren.

### **1.1.2. Indikationen zur operativen Beinverlängerung**

Durch die verbesserten chirurgischen Techniken hat sich das Indikationsspektrum für operative Korrekturmaßnahmen zunehmend erweitert. In den Anfängen der Kallusdistraktion konnten nur wenige Achsenkorrekturen als möglich erachtet werden, wohingegen heute fast alle Korrekturen in der sagittalen und koronalen Ebene durchgeführt werden können.

Indikationen für operatives Vorgehen bestehen bei Beinverkürzungen von mehr als 2 cm im jeweiligen Knochen mit und ohne Abweichung der Achse und der Torsion sowie bei ein- und beidseitigem Minderwuchs, Knocheninfektionen und Knochendefekten, Pseudarthrosen und Knochentumoren (Debrunner 1995; Baumgart, Infoblatt auf Webseite). Auch Operationen von Patienten, die sich zu klein fühlen und oft erheblich darunter leiden, kommen unter bestimmten Voraussetzungen zur Anwendung.

Insbesondere bei jungen Patienten gilt es zu berücksichtigen, dass der lebenslange Schuhausgleich eine erhebliche vermeidbare Belastung bedeutet. Den Spätfolgen einer Beinlängendifferenz, wie z.B. ein fixierter Beckenschiefstand mit einer strukturellen Skoliose und Arthrose in den dauerbeanspruchten Gelenken, kann durch Korrekturmaßnahmen vorgebeugt werden.

Dem Ausmaß der Verlängerung sind zunächst keine harten Grenzen gesetzt, sofern man die Beanspruchbarkeit der angrenzenden Gelenke und der nervalen und vaskulären Leitungsbahnen respektiert.

## **1.2. Apparativer Umsetzung der Kallusdistraction**

In den letzten Jahren ist die Distractionsosteogenese eine verbreitete Methode zur Beinverlängerung und Behandlung großer Knochendefekte geworden. Neben den ursprünglichen Techniken von Ilizarov basierend auf dem Ringfixateur werden monolaterale Fixateure mit speziellen Verlängerungsvorrichtungen genutzt, besonders bei Femurverlängerungen. In den letzten Jahren haben die intramedullären Systeme immer mehr an Bedeutung gewonnen (Baumgart 2006).

Bei der Verwendung eines externen Fixateurs muss dieser während der gesamten Therapiedauer, d.h. während der Verlängerungs- und der Konsolidierungsphase, an der Extremität verbleiben. Die Vorteile sind ein relativ geringer operativer Aufwand und ein leichter Zugang für Korrekturmaßnahmen. Gerade im Oberschenkelbereich sind die Ringfixateure besonders belastend. Häufig auftretende Infektionen an den Poreintrittsstellen, Schmerzen und ein schlechtes kosmetisches Ergebnis rechtfertigen den Einsatz beim Erwachsenen kaum noch. Monolaterale Fixateure sind zwar vorteilhafter, weil sie die Weichteile weniger irritieren, ermöglichen aber nur im Diaphysenbereich die gleichen Korrekturoptionen (Baumgart 2006).

Um die Zeit mit externem Fixateur zu verringern, kann der Fixateur mit einem intramedullären Nagel kombiniert werden. Dieser Nagel ermöglicht Stabilität sowohl während der Verlängerungs-, als auch der Konsolidierungsphase. Der Fixateur selbst wird nur zur Verlängerung gebraucht und kann entfernt werden, sobald der Nagel verriegelt ist. Diese Methode nennt sich „lengthening over nail (LON)“ (Baumgart 2006). Angewandt wird diese Technik vor allem an der unteren Extremität bei kleineren Längendefiziten im Unterschenkelbereich (unter 2 cm). Für längere Distanzen und generell am Oberschenkel ist diese Technik ein Verfahren der zweiten Wahl (Baumgart 2006).

Die Verlängerung über einen intramedullären Nagel bietet für den Patienten größeren Komfort und vermindert die Zeit mit externem Fixateur. Wenn auftretende Probleme aggressiv behandelt werden, dann ist das Behandlungsergebnis sehr zufriedenstellend (Kocaoglu, Eralp et al. 2004).

Unter den voll implantierbaren Systemen unterscheidet man die mechanischen und die motorisierten Systeme:

Bei dem Albizzia®-Nagel wird die Verlängerung mechanisch vom Patienten selbst vorgenommen. Ein Ratschenmechanismus wird 15 Mal pro Tag durch eine Innen- und Außenrotation von 20° aktiviert, wobei eine Verlängerung von ca. 1 mm pro Tag stattfindet (Baumgart 2006). Dieses Verfahren wird häufig als äußerst schmerzhaft empfunden, besonders zu Beginn der Verlängerung, teilweise aber auch während der gesamten Therapie. Als weiteren Nachteil muss man nennen, dass der Nagel lediglich zur Verlängerung geeignet ist. Eine komplexe Korrektur ist nicht möglich.

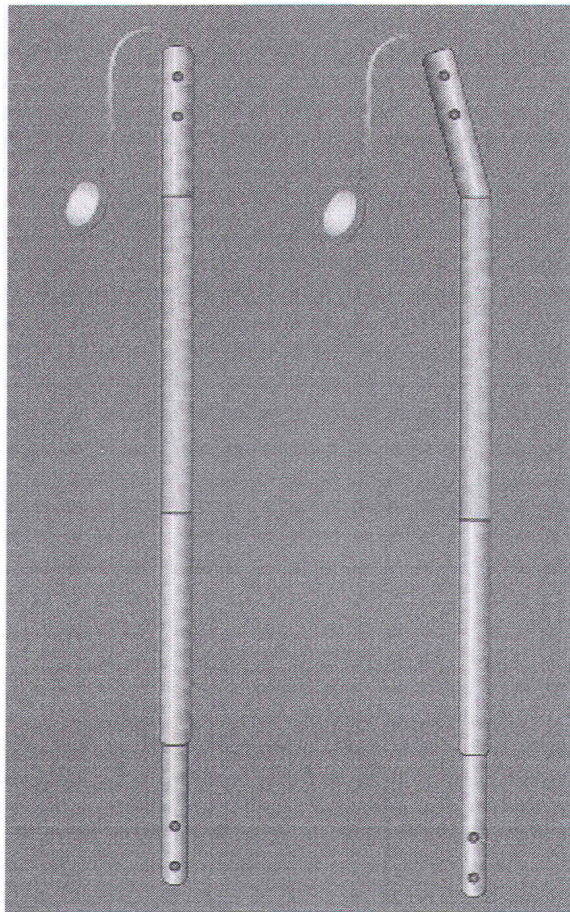
Der „intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD)“ funktioniert ähnlich einer automatischen Uhr. Innen- und Außenrotationen von 6° sind ausreichend, um den installierten Mechanismus zu aktivieren. Hierfür ist eine manuelle Manipulation nicht notwendig; die Aktivitäten des täglichen Lebens, kontrollierte Bewegungen und Teilbelastung sollten ausreichen, um eine Verlängerung von 1 mm pro Tag zu erzielen (Hankemeier, Gosling et al. 2005). Erwartungsgemäß ist dies kein exakt kontrollierbarer und gleichmäßiger Verlängerungsmechanismus. Zu schnelle Verlängerung von bis zu mehreren Millimetern am Tag oder andererseits ein Stillstand der Distraction sind nicht selten. Neben der mangelnden Kontrolle der Distaktionsgeschwindigkeit bietet auch dieses System nur ungenügend Korrekturmöglichkeiten für Achs- und Torsionsfehlstellungen.

(Baumgart 2006)

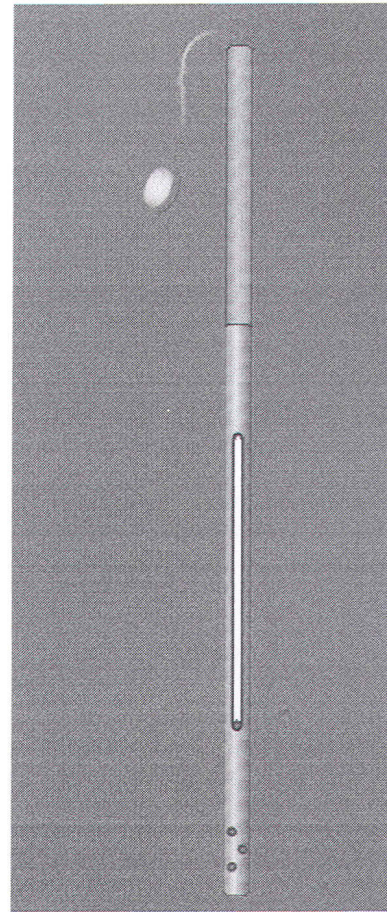
### **1.3. Kallusdistraction mit dem voll implantierbaren Marknagelsystem (Fitbone®)**

Das Fitbone®-System basiert auf einem intramedullären Kraftträger und ermöglicht die Verlängerung über einen integrierten, hermetisch eingekapselten, motorisierten Antrieb. Die Kraft des Systems erreicht Spitzenwerte von 2000 N. Die benötigte Energie wird induktiv von einer externen Kontrolleinheit über einen Transmitter an einen subcutan liegenden Empfänger geleitet. Die Haut kann deshalb am Ende der Operation vollständig verschlossen werden. Die Energie wird entweder drei- bis viermal am Tag oder kontinuierlich während der Nacht zugefügt. (Baumgart 2006)

Es gibt zwei verschiedene Arten von Fitbone®-Nägeln: der Fitbone® Telescope Active Actuator (TAA) und der Fitbone® Slide Active Actuator (SAA) (Baumgart 2006)



*Fitbone® TAA für Femur und Tibia*



*Fitbone® SAA für Femur*

Foto 1: das Fitbone® – System. Den Fitbone® TAA gibt es als gerade Version für das Femur und mit einer Herzog-Biegung für die Tibia. Der gerade Fitbone® SAA Nagel ist ein multifunktionelles Korrekturinstrument für das Femur. Im mittleren Teil des Implantats befindet sich ein Langloch, das Verlängerungen und Knochentransporte erlaubt. (Baumgart 2006)

Durch Weiterentwicklungen sind Oberschenkelverlängerungen bis 85 mm und Unterschenkelverlängerungen bis 65 mm durchführbar. Darüber hinausgehende Verlängerungen erfordern einen operativen Zwischenschritt. Sogar langstreckige Knochendefekte am Oberschenkel, z.B. nach Unfällen oder Knochentumoren, sind mit dem Fitbone®-Implantat und somit ohne externen Fixateur behandelbar.

Wenn sowohl Ober- als auch Unterschenkelverlängerungen durchgeführt werden sollen, wird in der Regel jeweils ein voll implantierbarer Distraktionsmarknagel in den Ober- und ein weiterer in den Unterschenkel platziert. Beide Implantate können über einen einzigen 3 cm langen Schnitt unterhalb der Kniescheibe eingebracht werden, der parallel zu den Hautfalten später fast unsichtbar verheilt. Da die Verlängerung sowohl am Ober- als auch am Unterschenkel jeweils mit 1mm/Tag abläuft, kann so das gesamte Bein mit 2mm/Tag verlängert werden, was zu einer

wesentlichen Verkürzung der Gesamtbehandlungszeit führt (Baumgart, Betz et al. 1997). Die Verlängerung beginnt am fünften bis siebten postoperativen Tag. Während der Verlängerungsphase muss sich der Patient wöchentlich in der Spezialsprechstunde zur Kontrolle des Distraktionsverlaufs vorstellen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Gelenkbeweglichkeit und die Kontrolle der Nerven gelegt. Damit Luxationstendenzen frühzeitig erkannt werden können, werden bei jeder Verlaufskontrolle die Gelenke genau untersucht. Dabei wird der Patient sowohl klinisch wie auch radiologisch begutachtet, um evtl. Anpassungen der Verlängerungsgeschwindigkeit vornehmen zu können. Eine mindestens viermal pro Woche stattfindende physiotherapeutische Behandlung, ergänzt durch ein intensives selbstständiges Funktionstraining, ist obligatorisch.

Wenn die gewünschte Länge erreicht wurde, braucht der Knochen noch mal die doppelte bis dreifache Verlängerungszeit, um die nötige Stabilität zu entwickeln. In dieser Phase darf der Patient, ebenso wie in der Verlängerungsphase, die Extremität mit maximal 20 kg teilbelasten. Nach Abschluss der Konsolidierungsphase, wenn radiologisch der Knochen genügend stabil erscheint, wird vom Operateur die Vollbelastung freigegeben. Aus Sicherheitsgründen sollte aber das Implantat mindestens 12 bis 18 Monate im Knochen verbleiben, um ein erhöhtes Frakturrisiko im Verlängerungsbereich zu minimieren. Auch in diesen Phasen ist eine begleitende Physiotherapie unerlässlich (Baumgart, Infoblatt auf Webseite).

Die Vorteile der Beinverlängerung mit dem Fitbone®-System sind, wie auch bei anderen voll implantierbaren Systemen, die gute Erreichbarkeit der Extremität für den Therapeuten, was eine hohe Flexibilität bei der Behandlung erlaubt. Viele physiotherapeutische Techniken, wie Weichteiltechniken, Lymphdrainage und Manuelle Therapie, können wesentlich leichter angewendet werden. Auch eine Therapie im Bewegungsbad wird möglich.

Komplikationen wie Infektionen, Schmerzen und erheblicher Misskomfort an den Metalleintrittsstellen während der gesamten Behandlung kommen nicht vor und das teilweise schmerzhaftes Wechseln von Verbänden um den externen Fixateur entfällt.

Auch die durch Rotationsbewegung zur Nagelverlängerung ausgelösten Schmerzen wie beim Albizzia®-Nagel spielen keine Rolle. Ein weiterer Vorteil gegenüber anderen intramedullären Systemen ist die gute Steuerbarkeit der Verlängerung, die jederzeit kontrolliert und an den Patienten individuell angepasst verläuft (Baumgart 1999).

## **1.4. Bedeutung der Physiotherapie bei der Kallusdistraction**

Die essentielle Rolle der physiotherapeutischen Nachbehandlung bei Patienten, die sich einer Verlängerungsbehandlung unterziehen, ist unumstritten. Die Kallusdistraction ist eine hoch effiziente Methode, neues Knochengewebe zu züchten. Das Verfahren ist hinsichtlich der knöchernen Regenerationsfähigkeit nicht limitiert, vielmehr sind es die umgebenden Weichteilstrukturen, insbesondere die Faszien, die Sehnen, die Blutgefäße und die Nerven sowie der zunehmende Knorpeldruck, die das Ausmaß der Distraction begrenzen. Begleitende physiotherapeutische Maßnahmen sind deshalb ein wesentlicher, unverzichtbarer Bestandteil jeder Distaktionsbehandlung.

Die Komplikationen der Beinverlängerung sind unterteilt in knöcherne und Weichteilkomplikationen. Die Rolle der Physiotherapie besteht darin, hauptsächlich die Weichteilkomplikationen wie z.B. Muskelkontraktionen, Schwäche der Muskulatur, Gelenkkontrakturen, Nervenverkürzung und Gelenksluxationen zu behandeln (Nogueira, Paley et al. 2003; Kwan, Penafort et al. 2004). Dabei ist es sehr wichtig, prophylaktisch auf häufige Komplikationen in der Therapie einzugehen, damit diese schon in einem sehr frühen Stadium behandelt werden können und sich nicht so stark ausprägen.

Schon in der postoperativen Phase werden Komplikationen wie orthostatische Dysregulationen, Thrombosen, Pneumoniegefahr durch lange Liegezeiten sowie die Gefahr einer Spitzfußstellung und Gelenkkontraktur durch aktivierende Krankengymnastik minimiert. Dabei macht sich die Physiotherapie zum Ziel, die Gelenkbeweglichkeit möglichst auf dem präoperativen Niveau zu halten, bevor der Distaktionsstress einsetzt. In einer Studie über die Auswirkungen der Femurverlängerung auf die Gelenkbeweglichkeit (Barker, Simpson et al. 2001) wurde gezeigt, dass es gerade in der Zeit zwischen Operation und Beginn der Distraction zu starken Veränderungen der Gelenkbeweglichkeit kommt. Deshalb ist es wichtig, dass die physiotherapeutische Behandlung schon direkt postoperativ beginnt, um die Gelenkbeweglichkeit möglichst frühzeitig wieder herzustellen und die muskulären Komplikationen so gering wie möglich zu halten.

In der darauf folgenden Distaktionsphase ist eine intensive physiotherapeutische Therapiebegleitung unumgänglich, da sich insbesondere die Weichteile an die Verlängerung anpassen müssen und dieser Vorgang durch manuelle Techniken gut unterstützt werden kann. Gerade Komplikationen, wie z.B. das Extensionsdefizit im Kniegelenk, können bei therapieresistenter Ausprägung ein Abbruchkriterium für die Verlängerung sein. Im frühen Stadium ist eine Kontraktur durch Manuelle Therapie sowie Dehn- und Weichteiltechniken der entsprechenden

Muskulatur gut therapierbar. Auch die zu erwartende Schwellungsneigung der Extremität kann bewegungslimitierend sein und sollte daher frühzeitig mit Lymphdrainage behandelt werden.

Die anschließende Konsolidierungsphase wird vom behandelnden Therapeuten genutzt, um die während der Distraction entstandenen Defizite in Gelenkbeweglichkeit, Muskeltonus und Kraft auszugleichen, damit am Ende der Therapie ein optimales funktionelles Ergebnis erzielt werden kann.

Die kompetente und effektive Physiotherapie ist daher ein unverzichtbarer Bestandteil der Kallusdistraction.

## **2. Theoretische Grundlagen und Literaturübersicht**

### **2.1. Physiologische Anpassungen während einer Verlängerung**

Wie sich in den tierexperimentellen und klinischen Studien von Fink et al. (Fink 1999) zeigte, kommt es bei der Extremitätenverlängerung zu drei verschiedenen nebeneinander laufenden Prozessen in den Weichteilgeweben: 1. zu Weichteilschädigungen mit degenerativen Prozessen „bis hin zu Zellnekrosen in den Muskeln, den Nerven und Sehnen sowie Denervierung der Muskelfasern mit daraus resultierenden neurologischen Muskelatrophien. Diese werden von Regenerations- bzw. Reparations- sowie von Reinnervationsprozessen gefolgt. 2. finden Histoneogenesevorgänge statt, die so ausgeprägt sind, dass sie zu einem Gewebewachstum mit Vermehrung der gewebspezifischen Zellen in der Muskulatur, den Sehnen und Gefäßen führen. Hieraus kann gefolgert werden, dass ein kontinuierlicher, kleinschrittiger Zugreiz einen wichtigen Stimulator für Gewebewachstum darstellt. 3. kommt es zu adaptiven Prozessen. Hierzu zählt die Vermehrung der Vasa vasorum, die der Anpassung an einen erhöhten Sauerstoffbedarf bei Wachstumsprozessen dienen dürfte“ (Fink 1999).



## 2.2. Übersicht über die wichtigsten physiotherapeutischen Therapieoptionen

### Unmittelbar postoperative Prophylaxen

Um Komplikationen wie Pneumonie, Thrombose, Spitzfußstellung und Kontrakturen der Gelenke zu vermeiden, ist es wichtig, schon am ersten postoperativen Tag mit einer physiotherapeutischen Behandlung zu beginnen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Frühmobilisation, damit der Kreislauf des Patienten angeregt wird und er gleichzeitig lernt, mit Gehstöcken zu laufen. Wenn möglich sollte der Patient am ersten Tag nach der Operation mit Hilfe aufstehen. Zur Thromboseprophylaxe sollten Antiemboliestrümpfe getragen werden. Diese beugen auch einer postoperativen Schwellungsneigung vor. Neben der Lagerung des Beines in Nullstellung, z.B. mit einem Kissen am Fußende, um die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk zu unterstützen, sollten die angrenzenden Gelenke regelmäßig bewegt werden. Hierbei spielt auch die Behandlung mit der Motorschiene eine große Rolle.

### Muskeldehnung und Detonisierung

Man unterscheidet aktive und passive Techniken sowie Quer- und Längsdehnungen. Ein Muskel kommt auf Dehnung, indem Ursprung und Ansatz maximal weit von einander entfernt werden. Bei zweigelenkigen Muskeln wird ein Gelenk fixiert und über das andere gedehnt.

Bei passiver Dehnung sollte die Dehnstellung 30 sek. bis 2 min. gehalten werden.

*Querdehnung:* Die Dehnung wird auf den Muskelbauch der entspannten Muskulatur quer zum Faserverlauf manuell durchgeführt. Die Querdehnung kann auch bei stark tonisierter und schmerzhafter Muskulatur angewandt werden.

Bei der aktiven *Muskellängsdehnung* unterscheidet man 3 Arten:

*Sherrington-Gesetz I (Agonistentechnik, postkontraktische Hemmung):* Nach maximaler Muskelanspannung folgt eine maximale Entspannung des entsprechenden Muskels.

*Sherrington-Gesetz II (Antagonistentechnik, antagonistische Hemmung):* Die maximale Anspannung des Antagonisten bewirkt eine Entspannung der Agonisten.

*Postisometrische Relaxation:* Der zu dehnende Muskel wird mit ca. 30% der Maximalkraft angespannt und diese Spannung wird 8-10 sek. gehalten. Nach kurzer Entspannungspause wird der Muskel über 15-20 sek. gedehnt.

(Brokmeier 1996; Friedrichsen 1997)

### Manuelle Therapie

„Die Manuelle Therapie (Synonym: Chirotherapie) ist nach H. P. Bischoff die auf einer gezielten Diagnostik aufbauende funktionelle Therapie, welche durch Mobilisations- und Manipulationstechniken auf ein in seiner Funktion reversibel gestörtes Gelenk der Extremität ... einwirkt. ...“ (Friedrichsen 1997). Die Mobilisation wird bei Gelenkfunktionsstörung zur Verbesserung der

Beweglichkeit eingesetzt. Sie besteht aus passiven wiederholten Bewegungen in die eingeschränkte Bewegungsrichtung.

## **Weichteiltechniken**

Die Weichteiltechniken bewirken eine Aktivierung von Mechanorezeptoren durch bestimmte Techniken zur Scherzhemmung und zur Verbesserung der Zirkulation im Gewebe (Schäffler 1996).

Dazu gehören Techniken aus der klassischen Massage, Querfraktionen (deep frictions) sowie Entspannung der Muskulatur durch Quer- und Längsdehnungen.

Die Querfraktion ist eine schmerzreduzierende Querdehnung von schmerzhaften Strukturen, insbesondere Sehnenansätze. Muskel- und Bindegewebsfasern sollen dabei gelöst und wieder funktionell ausgerichtet werden (Krämer 1997).

## **Isometrie**

Unter isometrischen Spannungsübungen versteht man Muskelanspannungen gegen einen Widerstand, ohne dass eine Bewegung stattfindet. Voraussetzung dafür ist, dass eine ausreichende Kraft vorhanden ist. Ziel ist eine Kraftzunahme bzw. eine Erhöhung der Kraftausdauer. Eingesetzt werden isometrische Widerstandsübungen bei Abschwächung oder Atrophie von Muskelgruppen oder bei muskulären Dysbalancen. Dabei bewirkt die Anspannung des Agonisten immer eine reflektorische Entspannung des Antagonisten (Stein 2005). Behandlungssprinzip ist das Anspannen – Halten – Entspannen.

## **Lymphdrainage**

Postoperativ und durch die Verlängerungsbehandlung selbst, kommt es zu einer Erhöhung des Stoffwechsels mit vermehrter Lymphproduktion. Eine so entstandene lymphatische Schwellung kann durch Manuelle Lymphdrainage behandelt werden. Das „ist eine besondere Form der Massage, welche in den 20er und 30er Jahren vom dänischen Ehepaar Vodder entwickelt wurde. Das besondere daran ist, dass sie auf die Anatomie und Physiologie des Lymphsystems, sowie auf die Flüssigkeit im Interstitium abgestimmt ist“ (Kasseroller 1999).

Dabei streicht man mit den Fingerkuppen in Richtung der Lymphbahnen. Man beginnt mit der Anregung der proximalen Lymphknoten und arbeitet sich nach distal vor, um einen optimalen Lymphabfluss zu ermöglichen. Die Streichrichtung muss dabei immer herzwärts ausgerichtet sein.

## **Wärme (heiße Rolle)**

Zwei bis drei Frotteetücher werden trichter- bzw. zylinderförmig zusammengerollt und anschließend mit kochendem Wasser getränkt. Unter einer Rollbewegung auf dem Schmerzareal des Patienten rollt der Therapeut die heiße Rolle langsam ab, so dass der heiße Kern nach und nach freigelegt wird. Diese Methode eignet sich besonders gut zur Schmerzreduktion sowie zur Detonisierung hypertoner Muskulatur. Gleichzeitig kommt es durch die lokale Wärmezufuhr zu

einer Anregung des Stoffwechsels und damit zu einem verbesserten Abtransport von Schlackenstoffen.

## **Gangschulung**

Eine Gangschulung ist bei fast allen Patienten nach Operationen an den unteren Extremitäten notwendig. Zunächst wird dem Patienten das Gehen mit Unterarmgehstützen unter Berücksichtigung der Teilbelastung beigebracht. Dabei wird ein möglichst physiologisches Gangbild geübt, um eine zusätzliche Belastung benachbarter Gelenke zu verhindern und pathologische Bewegungsbilder abzubauen (Krämer 1997).

In einer Studie über die Auswirkung einer Beinlängendifferenz auf den normalen Gang konnten Bhav et al. (1999) nachweisen, dass die Verlängerung der kürzeren Extremität die Gangsymmetrie und quantifizierbaren Haltungparameter normalisieren und somit ein Hinken beseitigen kann. Gerade deshalb ist es wichtig, die Patienten frühzeitig einer therapeutischen Gangschulung zuzuführen, um den normalen Gang wieder zu erlernen.

## **Motorschiene**

Die Motorschiene wird auch Bewegungsschiene oder Continuous Passive Motion (CPM) genannt. Sie ist eine Extremitätenlagerungsschiene mit Halterungsgestell zur postoperativen frühfunktionellen Übungsbehandlung und Kontrakturprophylaxe durch passive kontinuierliche Gelenkbewegung. So kann speziell in der frühen postoperativen Phase die passive Gelenkbeweglichkeit erhalten werden, ohne dass durch den Einsatz von Muskelkraft Scherbelastungen auf das operierte Bein kommen.

„Jede CPM-Maschine stellt jedoch nur eine Ergänzung zur Physiotherapie dar, bei der die Komplexfunktionen trainiert werden. Es ist jedoch wünschenswert, die klassischen Rehabilitationstechniken frühzeitig mit CPM zu koordinieren“ (Jerosch 2005)

## **Nervenmobilisation**

Der Nerv wird auf Dehnung gebracht, indem das proximale und distale Ende in allen überspannten Gelenken auf maximale Entfernung gebracht werden. Über kleine wiederholte Bewegungen des distalen oder proximalen Gelenks werden Verklebungen gelöst und der Nerv gegenüber seiner Umgebung mobilisiert (Schäffler 1996).

Nervendehnungstechniken dienen dazu, den Nerv passiv gegen seine Umgebung zu mobilisieren (Butler 2000). Elvey und Hall (2004) behaupten, dass diese Therapie Schmerzen reduziert, indem sie das Nervengewebe zusammen mit den umgebenden Strukturen mobilisiert und damit die Dehnung weiterer mechanosensitiver Nervenstrukturen vermindert, wodurch sonst weitere Schmerzen auslöst werden könnten.

## **Proprioceptive Neuromuskuläre Facilitation (PNF)**

Durch komplexe Bewegungsmuster wird unter Ausnutzung propriozeptiver Leitungswege die Muskulatur von Extremitäten und Rumpf mit allen Bewegungskomponenten, die das Gelenk zulässt, stimuliert bzw. gekräftigt. Es ist eine Methode zur Bahnung von Bewegungen des gesamten neuromuskulären Systems (Krämer 1997).

Das PNF-Stretching wird in der Literatur als die effektivste Methode angegeben, wenn man das Ziel verfolgt, den Bewegungsumfang zu verbessern. (Sharman 2006)

## **Patellamobilisation**

Zum Lösen von Verklebungen in den Verschiebeschichten der Patella wird die Kniescheibe in medial-lateraler und kaudo-kranialer Richtung passiv durch den Therapeuten bewegt.

## **Koordinationstraining**

Dazu gehören Übungen zur Schulung der inter- und intramuskulären Koordination sowie der Propriozeption. Dabei werden je nach Belastungsfähigkeit des Patienten Geräte wie Pezziball, Schaukelbrett, weiche Unterlage, Sportkreisel usw. eingesetzt (Krämer 1997).

## **Eisbehandlung/ Kryotherapie**

„Kryos kommt aus dem griechischen und bedeutet soviel wie Eis oder Frost. Bereits vor Hippokrates wurde kaltes Wasser oder auch Schnee zur Schmerzbekämpfung eingesetzt“ (Trnavski 1991).

Kryotherapie ist die lokale Anwendung von Eis zu therapeutischen Zwecken. Durch verschiedenartige Applikationsformen mit unterschiedlicher Einwirkzeit soll der Stoffwechsel angeregt und somit der Selbstheilungsprozess unterstützt werden (Krämer 1997).

## **Heimübungsprogramm**

Das Heimübungsprogramm ist eine Auswahl von Übungen und Maßnahmen, die der Patient (eigenständig bzw. mit fremder Hilfe) außerhalb der Behandlungszeiten durchführt (selbstständiges Funktionstraining) (Schäffler 1996).

## **Lagerungs- und Quengelschienen**

Lagerungs- und Quengelschienen sind dynamische Schienen zur Behebung von Verklebungen und Kontrakturen. Durch die Schienung wird ein kontinuierlicher Zug in Richtung der Bewegungseinschränkung gegeben. Damit wird die verkürzte Muskulatur einer Dauerdehnung ausgesetzt, die für den Patienten nicht schmerzhaft sein darf (Krämer 1997).

Auch Kwan et.al. (2004) empfehlen auf Grund der Ergebnisse ihrer Studie den Gebrauch einer Extensionsschiene bei Verlängerungsbehandlungen zur Vermeidung von Knieflexionskontrakturen.

## 2.3. Bisherige Therapiekonzepte

Die Frage nach der Art der physiotherapeutischen Begleitbehandlung bei komplexen Korrekturoperationen wird in verschiedenen Zentren für Kallusdistraction unterschiedlich beantwortet. Über die Wichtigkeit der Physiotherapie für diese Patienten sind sich aber alle Experten einig.

Im Folgenden werden die Nachbehandlungsgrundsätze der Chirurgischen Klinik München Innenstadt der Ludwig Maximilians Universität unter Prof. Baumgart mit denen des Maryland Center For Limb Lengthening & Reconstruction in Baltimore unter Prof. Paley und denen des Pediatric Limb Reconstruction Service, Orthopaedic Department, Children's Hospital, Sheffield unter Prof. Guichet verglichen.

Ähnlich wie in den anderen Zentren beginnt die physiotherapeutische Behandlung in München unmittelbar postoperativ noch während des stationären Aufenthaltes. Bereits am ersten Tag nach der Operation steht der Patient mit Hilfe auf. Er erlernt den Umgang mit Unterarmgehstützen unter Teilbelastung von maximal 20 kg. Eine Entlassung aus der stationären Behandlung erfolgt je nach Wohlbefinden zwischen dem 6. und 10. Tag. Während der Verlängerungsphase wird dem Patienten empfohlen, sich mindestens 3-4-mal wöchentlich einer konsequenten Krankengymnastik von möglichst einer Stunde bei einem niedergelassenen Therapeuten in Wohnnähe zu unterziehen. Dies beinhaltet ein selbstständiges Funktionstraining als Heimübungsprogramm, um durch Dehnen der Weichteile eine gute Funktion zu erhalten.

In der Konsolidierungsphase kann die Therapiefrequenz, je nach funktionellem Ergebnis, gesenkt werden. Nach Freigabe der Vollbelastung durch den Operateur wird dem Patienten ein intensives Krafttraining zum Wiedererlangen der Muskelkraft empfohlen.

Im Maryland Center For Limb Lengthening & Reconstruction in Baltimore werden die Patienten während der Verlängerungsphase mit 5 Sitzungen Physiotherapie pro Woche von je 2 Stunden Dauer behandelt. Eine Sitzung findet im Therapieraum statt und konzentriert sich auf die Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit, auf Muskeldehnungen und Gelenkmobilisation. Die 2. Sitzung erfolgt im Bewegungsbad und sollte zu 50% Muskeldehnungen und zu 50% aktive Gelenkbeweglichkeitsübungen enthalten (Bhave, unveröffentlichte Manuskript 1). In der Konsolidierungsphase wird auch hier die Therapiefrequenz auf zwei- bis dreimal wöchentlich gesenkt (Bhave, unveröffentlichte Manuskript 1).

Die physiotherapeutische Behandlung von Patienten bei Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur mit dem Albizzia®-Nagel beginnt laut Guichet et al. (1999) mit der Behandlung durch die Motorschiene schon im Aufwachraum. Ziel ist die vollständige Kniegelenksbeugung und die Erholung der Quadricepsstärke möglichst vor dem 5. Tag, an

dem die Verlängerung mittels Rastenmanöver beginnt. „Das Laufen mit Gehstützen wird so bald als möglich wiederaufgenommen. Eine Belastung ist während der Verlängerungsperiode nicht erlaubt, um den Rastenmechanismus nicht zu verschleifen, aber isometrische Muskelkräftigungen müssen, begleitet durch Weichteildehnungen, durchgeführt werden. Die isokinetische Muskelkräftigung wird am Ende der Verlängerungsmethode begonnen. Wenn die Verlängerung erreicht wurde, wird die Vollbelastung ebenso wie Sport normalerweise erlaubt, wenn die Heilung einen homogenen Kallus zeigt, der stark genug ist, den Nagelbruch zu verhindern“ (Guichet 1999). „Im Anschluss an die Nagelinserion wird die Physiotherapie für 1 Jahr fortgesetzt. Die Kräftigung der Muskulatur muss gegen Widerstand erfolgen. Das Arbeiten gegen 80% des maximalen Widerstandes erlaubt einen Aufbau der Muskelmasse, der für Verlängerungen notwendig ist“ (Guichet 1999).

## **2.4. Komplikationsmöglichkeiten**

Jede Beinverlängerung im Erwachsenenalter ist mit einer operativen Durchtrennung des Knochens und einer nachfolgenden Stabilisierung und Distraction verbunden. In sehr seltenen Fällen können auch Komplikationen auftreten. Risiken allgemeiner Art sind Nachblutungen, Gefäß-/Nervenverletzungen, Funktionsstörungen, Wundheilungsstörungen und Thrombosen. Bei jeder Art der Marknagelung besteht zudem das erhöhte Risiko einer Lungenembolie. Obwohl das Risiko einer Infektion im Verlauf einer Verlängerungsbehandlung mit externem Fixateur deutlich höher ist, kann es, so wie nach jeder Operation, auch bei der Implantation eines Distractionmarknagels zu einer Infektion, auch des Knochens, kommen. Unter Umständen muss dann der Knochen zumindest vorübergehend von außen stabilisiert werden.

Als Hauptkomplikationen beschreibt Bhav (unveröffentlichtes Manuskript 2) die Kontraktur der ischiocruralen Muskulatur mit Folge einer Kniebeugekontraktur, die posteriore Subluxation der proximalen Tibia, verminderten Appetit und Gewichtsverlust, Infektionen an den Pineintrittstellen und den Verlust der Kniebeugung.

### 3. Zielsetzung und Fragestellung

Das operative Indikationsspektrum für Patienten mit komplexen Fehlstellungen hat sich in den letzten Jahren ständig erweitert. Trotzdem bleiben Korrekturoperationen und Distraktionsbehandlungen eine Seltenheit, die wenigen darauf spezialisierten Zentren vorbehalten sind. Die Folge ist, dass diese Zentren ein sehr großes Einzugsgebiet für Patienten haben. Es gibt daher auch nur wenige Physiotherapeuten, die durch eine große Anzahl an Patienten Erfahrungen sammeln können. Viele Patienten werden von heimatnahen niedergelassenen Physiotherapeuten behandelt, die keine Erfahrung in der Behandlung von Kallusdistraktionen haben. Sie sind daher nicht in der Lage, zu erwartende Probleme prophylaktisch zu behandeln und setzen ihre Behandlungsschwerpunkte oft falsch.

Zur Vorbereitung der Studie musste als erstes die Frage geklärt werden, welche Therapieoptionen bisher bei der Kallusdistraktion zur Anwendung kommen. Des Weiteren stellte sich die Frage, mit welchen Mitteln und anhand welcher Untersuchungstechniken man die auftretenden Einschränkungen und Komplikationen am besten bewerten und unter den Patienten vergleichen kann. Es musste auch geklärt werden, wie man z.B. Gelenkbeweglichkeiten relativ darstellen kann, damit verschiedene Bewegungen miteinander verglichen werden können. Dafür musste ein Weg gefunden werden, die Einschränkungen als einen Anteil (z.B. in Prozent) der Gesamtbeweglichkeit darzustellen. Es mussten auch standardisierte Untersuchungstermine definiert werden, um Patienten mit größeren Verlängerungsstrecken und folglich einer größeren Anzahl an Untersuchungen mit Patienten mit weniger Untersuchungen vergleichen zu können. Nur so konnte erarbeitet werden, welche Einschränkung zu welchem Zeitpunkt der Therapie am häufigsten auftritt. Dies sollte auch die Frage klären, ob es prognostische Parameter gibt, anhand derer man ein individuelles Risiko für die Kallusdistraktion abschätzen kann.

Ziel der Studie war es, die während einer Verlängerungsbehandlung auftretenden funktionellen Anpassungserscheinungen und Komplikationen bei angrenzenden Weichteilstrukturen und Gelenken zu finden.

Dabei sollten Parallelen zwischen den Patienten gefunden werden, um zu sehen, mit welchen funktionellen Problemen während einer Verlängerungsbehandlung zu rechnen ist. Für fast jeden niedergelassenen Physiotherapeuten ist es möglich, konkrete Probleme des Patienten,

wie z.B. eine Minderung der Knieextension, einen kontrakten Muskel oder ein ödematöses Gelenk, suffizient zu behandeln. Es bedarf allerdings einiger Erfahrung, mit Distraktionsbehandlungen auftretende Probleme schon im Ansatz zu erkennen oder diese gar zu behandeln, bevor sie sichtbar werden.

Das Ziel war, aus den Ergebnissen der Studie die Frage zu klären, ob für die Kallusdistraktion mit voll implantierbaren Systemen ein allgemeingültiges, standardisiertes Nachbehandlungsschema entwickelt werden kann, an dem sich alle Therapeuten orientieren können. Des Weiteren sollte ein Weg gefunden werden, die Kommunikation zwischen niedergelassenem Therapeuten, Referenztherapeuten des OP-Teams und Operateur zu verbessern.

Zusammenfassender Fokus dieser Studie:

1. Welche Therapieoptionen werden bisher bei Distraktionsbehandlungen angewandt?

Um diese Frage zu klären, erfolgten Recherchen in der Literatur und im Internet, sowie eine Studienreise zu Dr. D. Paley, Dr. JE Herzenberg und A. Bhavre, International Center for Limb Lengthening, Sinai Hospital of Baltimore, USA. Die verschiedenen Therapiekonzepte wurden mit dem derzeit gängigen Nachbehandlungskonzept der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der LMU verglichen.

2. Welche Zuordnung gibt es zu den einzelnen Behandlungsphasen?

Da die auftretenden Komplikationen im Zeitverlauf einer Verlängerungsbehandlung sehr unterschiedlich sind, war es Ziel der Arbeit, repräsentative Phasen festzulegen, um dem Patienten in jeder Behandlungsphase eine optimale physiotherapeutische Behandlung zu ermöglichen.

3. Wie lassen sich wertige Parameter quantifizieren?

Es mussten Untersuchungsalgorithmen für eine Quantifizierung der physiotherapeutisch relevanten Parameter gefunden werden (Befunderhebung und Verlaufskontrolle).

4. Gibt es prognostische Parameter (eventuell auch phasenabhängig)?

Ziel der Studie war es, zwischen den einzelnen Patienten, trotz großer interindividueller Unterschiede, Parallelen aufzuzeigen, die für die Prognose und das Ergebnis der Verlängerungsbehandlung relevant sein könnten.



5. Gibt es bisher ungenutzte Therapieoptionen?

Die meisten Untersuchungen über die Auswirkungen einer Beinverlängerung und Empfehlungen für die Nachbehandlung beziehen sich auf Patienten mit externem Fixateur. Deshalb sollte der Frage nachgegangen werden, ob sich für Patienten mit voll-implantierbaren Systemen davon abweichende Therapieoptionen ergeben und ob es für die Beinverlängerung bisher ungenutzte Therapieoptionen gibt.

6. Lässt sich für voll implantierbare Systeme ein spezifisches Behandlungskonzept erstellen?

Das zentrale Ziel der Studie war es, aus den erhobenen Parametern ein vollständiges Therapiekonzept zu entwerfen, das auf die Besonderheiten voll implantierbarer Distractionssysteme abgestimmt ist. Dieses Konzept sollte für den Großteil der Patienten geeignet sein und auch unerfahrenen Therapeuten die Möglichkeit geben, ihre Patienten optimal nachzubehandeln.

## **4. Material und Methoden**

### **4.1. Studiendesign**

Im Rahmen einer klinischen Studie wurden 25 Patienten untersucht, die mit voll implantierbaren Distractionsmarknägeln (Fitbone®) korrigiert und verlängert wurden. Davon unterzogen sich 9 Patienten einer kombinierten Ober- und Unterschenkelverlängerung, 11 Patienten einer alleinigen Oberschenkelverlängerung und 5 Patienten einer alleinigen Unterschenkelverlängerung. Die erste klinische Untersuchung erfolgte jeweils am Tag vor der Operation. Nach einer ca. 2-wöchigen Hospitalisation stellten sich die Patienten während der Verlängerungsphase wöchentlich in einer Sprechstunde vor und wurden nach einem speziell erarbeiteten Schema (siehe unten) untersucht. In der Konsolidierungsphase stellten sich die Patienten alle 4-8 Wochen zur Untersuchung vor. Alle Patienten nahmen an einem regelmäßigen Physiotherapieprogramm teil, das teilweise ambulant am Wohnort des Patienten

durch niedergelassene Physiotherapeuten und zum Teil durch die Therapeuten der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt durchgeführt wurde. Vor jeder klinischen Untersuchung wurden die Patienten von Physiotherapeuten der Klinik behandelt und anschließend von der Autorin nach einem standardisierten Schema untersucht. Die Ergebnisse dieser Messungen wurden zusammen mit entsprechenden Behandlungsempfehlungen dem jeweilig behandelnden, heimatnahen Physiotherapeuten zugeführt. Dieser hatte wiederum die Möglichkeit, auf einem Kommunikationsbogens Fragen an die Klinik zu stellen und als Rückkopplung seine eigene Therapie zu beschreiben und zu bewerten.

## **4.2. Patientenauswahl**

In die Studie wurden alle Patienten aufgenommen, die im Zeitraum zwischen dem 26.5.2003 und 6.11.2003 operiert wurden. Da sich unter diesen 21 Patienten nur eine Patientin mit alleiniger Unterschenkelverlängerung befand, wurden in einer 2. Untersuchungsrunde alle Patienten mit Verlängerung isoliert im Unterschenkelbereich noch zusätzlich in die Studie mit aufgenommen, die zwischen dem 13.12.2004 und 30.05.2005 operiert wurden.

Der Grund für die Verlängerung war bei 14 Patienten eine wachstumsbedingte Beinlängendifferenz. Diesen Patienten war gemeinsam, dass sie nicht voroperiert waren und dadurch die Operation an einem vermeidlich gesunden Bein stattfinden konnte. Diese Gruppe hatte allerdings den Nachteil, dass die Extremität noch nie lang war.

Ursachen für die Beinverkürzung waren in den meisten Fällen nicht benannt, die Wachstumsstörung wurde als idiopathisch bezeichnet. Andere Ursachen waren eine Hemihypertrophie der Gegenseite, ein vorzeitiger Schluss der Wachstumsfuge, eine angeborene Hüftdysplasie, intrauterine Abschnürungen und eine Hemisymptomatik bei infantiler Cerebralparese. Ein Patient ließ sich aus kosmetischen Gründen beide Ober- und Unterschenkel verlängern und wurde ätiologisch der Gruppe mit den wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen zugeordnet, da auch er nicht voroperiert war und seine Beine vorher nie lang waren. Sogar ein Patient mit Morbus Ollier, der schon mehrere frustrane Verlängerungsversuche mit externen Systemen hinter sich hatte, nahm erfolgreich an der Studie teil (Baumgart, Burklein et al. 2005).

3 Patienten hatten einen erworbenen Beinlängenunterschied durch ein Trauma während der Wachstumsphase. Bei diesen Patienten kam es zu einer Kombination von Trauma und operationsbedingter Beinlängendifferenz mit nachfolgender Wachstumsretardierung.

Ein Patient erlitt eine Oberschenkeltrümmerfraktur im Kindesalter, wodurch es zu einem vorzeitigen Schluss aller Epiphysenfuge kam und somit Ober- und Unterschenkel im Wachstum

zurückblieben. Bei einem Patienten wurde im Kindesalter eine Beckenumstellungsosteotomie durchgeführt und ein Patient zog sich eine Fraktur der Epiphysenfuge im Alter von 6 Jahren zu.

8 Patienten litten unter einer posttraumatisch erworbenen Beinlängendifferenz, wobei das Trauma im Erwachsenenalter nach Abschluss des Wachstums auftrat. Diese Patienten hatten alle schon einmal gleich lange Beine. Alle Studienpatienten dieser Gruppe hatten eine Trümmerfraktur mit primärem oder sekundärem Knochendefekt. Bei einer Patientin war es nach dem Unfall zu einer Osteomyelitis gekommen, wodurch die Beinverkürzung entstand.

Das Alter der Patienten lag zwischen 15 und 55 Jahren, der Mittelwert bei 30,2 Jahren. Die Verlängerungsstrecke lag bei Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung zwischen 40 und 90 mm, wobei zwischen 7 und 40 mm im Unterschenkelbereich verlängert wurde und zwischen 20 und 52 mm im Oberschenkelbereich. Eine therapieresistente Extensionsminderung von über 30° im Kniegelenk machte es erforderlich, einen Patienten nach nur 7 mm Verlängerung im Unterschenkel operativ zu revidieren. Nach der Revisionsoperation erreichte er wieder die volle Kniegelenksextension und konnte erfolgreich weiter verlängert werden. Deshalb wurde er trotz Revision in der Studie weitergeführt, lediglich bei dem direkten Vergleich zwischen Extension und Flexion im Verlängerungsverlauf wurden seine Werte nicht berücksichtigt, um das Studienergebnis nicht zu verfälschen.

Die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung wurden zwischen 24 und 60 mm verlängert.

Die Verlängerungsstrecke bei Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung lag zwischen 23 und 50 mm. Die Verlängerung erfolgte bei 12 Patienten am linken Bein und bei 13 Patienten am rechten. Bei den untersuchten Patienten handelte es sich um 11 Frauen und 14 Männer.

## **4.3. Untersuchungsmethoden**

### **4.3.1. Präoperative Untersuchung**

Die präoperative Untersuchung erfolgte an beiden Beinen mit dem Ziel, die beiden Seiten miteinander vergleichen zu können. Nach ausführlicher Anamnese zur Erhebung der Ursache der Beinlängendifferenz und Dokumentation von Voroperationen, präoperativen Beschwerden und Medikamentenanamnese, wurden die Patienten klinisch untersucht. Dabei wurde die untere Extremität hinsichtlich Gelenkbeweglichkeit nach der Neutral-Null-Methode (Debrunner 1995; Niethard 2003) untersucht. Die Muskelkraft wurde durch Muskelfunktionstests (Wieben

1991; Peterson K. F. 2001) von 0 bis 5 eingeteilt und die Dehnfähigkeit der Muskulatur nach standardisierten Tests (Peterson 2001); (Konin 1997); (Goodyer 2001) bewertet. Weiterhin wurden spezielle Funktionstests wie „tanzende Patella“ (Konin 1997; Goodyer 2001) und „Patellabeweglichkeit“ (Konin 1997; Goodyer 2001), der Umfang der unteren Extremität an definierten Messpunkten, der Muskeltonus (Goodyer 2001) sowie Oberflächensensibilität (Bickley 2000) und Nervendehnungstests (Peterson 2001) erhoben. Gleichzeitig wurden die Schmerzen und Beschwerden des Patienten auf einer Skala von 0 bis 10 dokumentiert (Geisler 2003).

#### **4.3.1.1. Messen der Gelenkbeweglichkeit**

Zunächst wurde zur Evaluation der Gelenkbeweglichkeit nach der Neutral-Null-Methode (Debrunner 1995; Niethard 2003) am Hüftgelenk die Flexions- und Extensionsfähigkeit, die Abduktions- und Adduktionsfähigkeit sowie die Innenrotations- und Außenrotationsfähigkeit gemessen. Am Kniegelenk, oberen Sprunggelenk und Großzehengrundgelenk wurden Flexions- und Extensionsfähigkeit gemessen, sowie die Pronations- und Supinationsbewegung im unteren Sprunggelenk.

Anschließend wurden die Muskelfunktionswerte folgender Muskeln erhoben: (Wieben 1991; Peterson 2001) Zehenextensoren, M. extensor hallucis longus, Zehenflexoren, M. tibialis anterior, M. tibialis posterior, Mm. peronei, M. satorius, Hüftabduktoren, Hüftadduktoren, Ischiocrurale Muskulatur, M. gluteus maximus, M. quadriceps femoris, M. iliopsoas, Innenrotatoren und Außenrotatoren im Hüftgelenk, M. gastrocnemius und M. soleus.

Dabei wurden die Muskeln nach folgendem Schema bewertet (Wieben 1991):

- 0 = Keine sicht- oder tastbare Anpassung eines an der Bewegung beteiligten Muskels
- 1 = Sicht- oder tastbare Kontraktion eines an der Bewegung beteiligten Muskels
- 2 = Die Bewegung wird vollständig unter Aufhebung der Schwerkraft ausgeführt.
- 3 = Die Bewegung wird vollständig gegen die Schwerkraft ausgeführt.
- 4 = Die Bewegung wird vollständig gegen die Schwerkraft und mittelgradigen Widerstand ausgeführt.
- 5 = Die Bewegung wird vollständig gegen die Schwerkraft und maximalen Widerstand ausgeführt.

#### 4.3.1.2. Messen der Muskeldehnfähigkeit

Die Dehnfähigkeit der Muskulatur der unteren Extremität wurde nach einem festen Schema gemessen. Bei allen Bewegungen wurde die passive maximal mögliche Amplitude bestimmt. Es wurde die Gelenkstellung gemessen, bei der der zu messende Muskel die maximale Dehnungslänge hat.

### Hüftflexoren

#### *M. iliopsoas*

Der Patient sitzt am Ende der Behandlungsbank. Die Oberschenkel liegen nur zur Hälfte auf dem Tisch. Er umfasst das kontralaterale Bein und zieht es auf den Bauch (Thomas-Handgriff) (Niethard 2003) und legt sich auf den Rücken. Gemessen wird die Extensionsfähigkeit im Hüftgelenk in Winkelgraden bei gestrecktem Kniegelenk (Friedrichsen 1997; Peterson 2001).

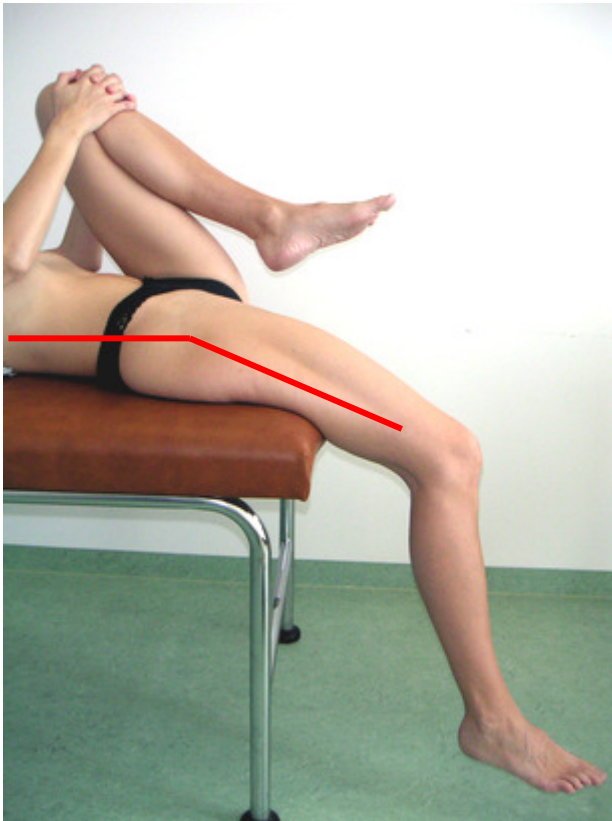


Foto 2: Messen der Dehnfähigkeit des M. iliopsoas. Das Becken wird durch den Thomas-Handgriff der kontralateralen Seite in Neutralstellung fixiert. Gemessen wird die passive Hüftextension bei entspannter Kniestellung.

### *M. rectus femoris*

1. Der M. rectus femoris kommt in Dehnstellung, indem der Patient bei gleicher Ausgangsstellung wie beim M. iliopsoas beschrieben (Thomas-Handgriff) (Niethard 2003) bei Nullstellung im Hüftgelenk das Kniegelenk maximal flektiert. Hier wird die Knieflexion in Winkelgraden gemessen (Friedrichsen 1997; Peterson 2001).
2. Ely's Test: In Bauchlage wird das Kniegelenk des Patienten langsam flektiert. Gemessen wird die Winkelstellung im Knie, bei der der Patient eine Ausweichbewegung in Richtung Flexion im Hüftgelenk macht (Konin 1997).

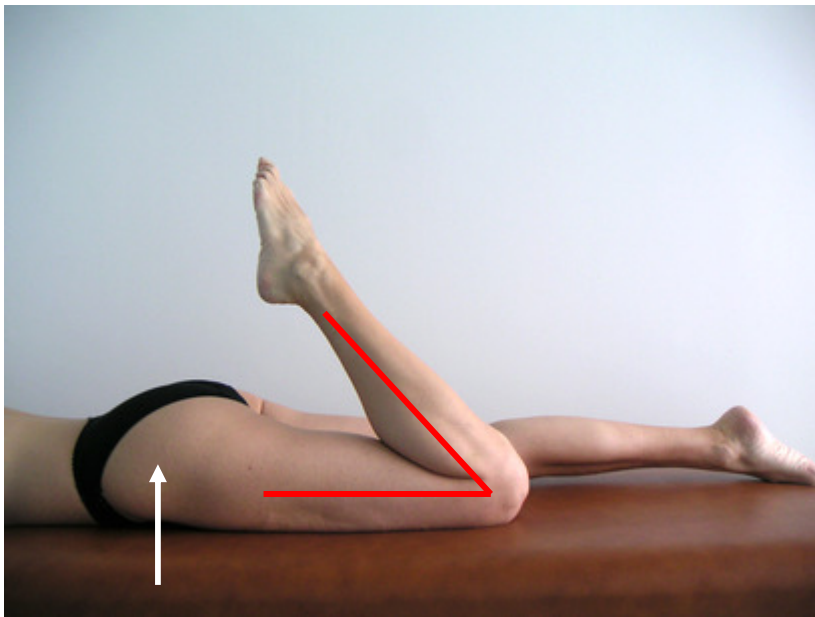


Foto 3: Ely-Test: Messen der maximalen Knieflexion in Bauchlage, bei der es gerade zu einer Ausweichbewegung im Becken in Richtung Hüftflexion kommt. Dies ist die Stellung, bei der der M. rectus femoris unter Dehnung gerät.

### *M. satorius*

Auch hier nimmt der Patient die gleiche Ausgangsstellung wie beim Test des M. iliopsoas ein. Beurteilt wird das Abweichen der unteren Extremität in Abduktion, Flexion, Außenrotation im Hüftgelenk sowie die Flexion im Kniegelenk. Die Abweichung wurde in Grad 0 (keine Abweichung) bis 5 (starke Abweichung) eingeteilt (Peterson 2001).

## Hüftextensoren

### *Ischiocrurale Muskulatur*

1. Ausgangsstellung ist die Rückenlage. Das Hüftgelenk des Patienten wird bei extendierter kontralateraler Seite in 90° Flexion bei Abduktions- / Adduktionsnullstellung

eingestellt. In dieser Stellung wird das Kniegelenk dieser Seite maximal extendiert. Gemessen wird das Extensionsdefizit in Winkelgraden (Friedrichsen 1997; Peterson 2001)

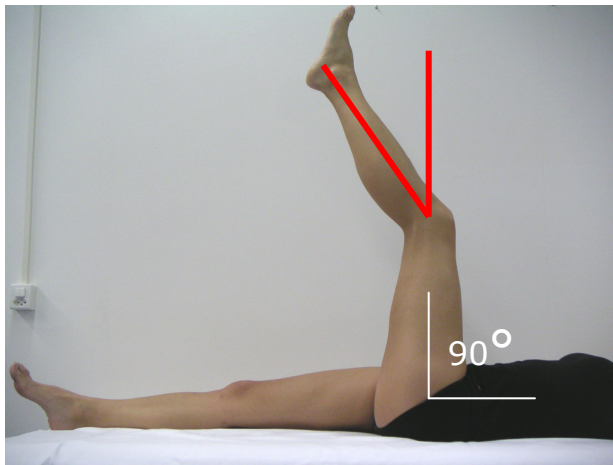


Foto 4: Messen der ischiocruralen Muskulatur: Messen des Extensionsdefizit im Kniegelenk bei 90° Hüftflexion und extendierter kontralateraler Seite.

2. Finger-Boden-Abstand: in der Ausgangsstellung Stand mit maximal nach vorne gebeugtem Oberkörper wird der Abstand zwischen den ausgestreckten Fingerspitzen und dem Boden in Zentimetern gemessen (Niethard 2003).



Foto 5: Messen des Finger-Boden-Abstandes (FBA) in Zentimetern

## Hüftadduktoren

### *Kurze Adduktoren*

In Rückenlage wird das zu messende Bein des Patienten bei extendiertem Hüftgelenk und flektiertem Kniegelenk (Überhang über die Bankkante) in Abduktion im Hüftgelenk gebracht. Gemessen wird die maximal mögliche Bewegung in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).



Foto 6: Test der kurzen Adduktoren durch Messen der maximalen Abduktionsfähigkeit im Hüftgelenk bei flektiertem Kniegelenk.

### *M. gracilis*

Der M. gracilis wird in der gleichen Ausgangsstellung wie die kurzen Adduktoren gemessen, nur wird hier das Hüftgelenk extendiert und innenrotiert sowie das Kniegelenk extendiert. Gemessen wird erneut die maximale Abduktion in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).

### *M. adduktor magnus*

In Rückenlage des Patienten wird das zu messende Bein angestellt (Flexion in Hüftgelenk und Kniegelenk). Gemessen wird die Abduktionsfähigkeit (Kippen des Beines zur Seite) aus dieser Stellung in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).



## Hüftrotatoren

### *Außenrotatoren im Hüftgelenk*

In Rückenlage bei Abduktions-/Adduktions-Nullstellung im Hüftgelenk ist das zu messende Bein im Hüftgelenk und Kniegelenk jeweils 90° flektiert. Gemessen wird die Innenrotationsfähigkeit in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).

### *Innenrotatoren im Hüftgelenk*

Ausgangsstellung wie bei der Messung der Außenrotatoren. Hierbei wird das Bein in Außenrotation bewegt und die Endstellung in Winkelgraden gemessen (Friedrichsen 1997).

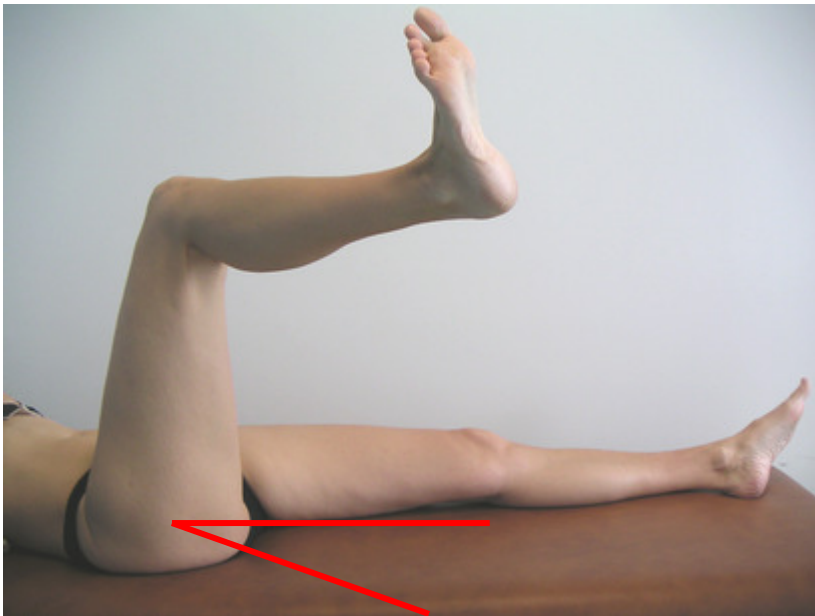


Foto 7: Test der Hüftrotatoren durch Messen der Außen- bzw. Innenrotation im Hüftgelenk bei 90° Flexionsstellung und flektiertem Knie.

## Unterschenkelmuskulatur

### *M. gastrocnemius*

In Rückenlage wird bei Nullstellung im Knie- und Hüftgelenk die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen (Friedrichsen 1997).

### *M. soleus*

In Bauchlage wird bei 90° flektiertem Kniegelenk die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen (Friedrichsen 1997).

### *M. tibialis posterior*

Ausgangsstellung wie bei Messung des M. soleus. Gemessen wird eine kombinierte Dorsalextensions- und Pronationsbewegung im Sprunggelenk in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).

### *M. tibialis anterior*

In Rückenlage bei Nullstellung im Hüftgelenk und Kniegelenk wird die Plantarflexion in Kombination mit Pronation im Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen (Friedrichsen 1997).

### *Mm peronaei*

Ausgangsstellung wie bei M. tibialis anterior. Gemessen wird die kombinierte Plantarflexions- und Supinationsbewegung im Sprunggelenk in Winkelgraden (Friedrichsen 1997).

## **4.3.1.3. Weitere Tests**

### *Test der Patellabeweglichkeit*

In Rückenlage bei Nullstellung im Kniegelenk wird die Patella hinsichtlich ihrer Verschiebbarkeit nach medial/lateral und kranial/kaudal beurteilt. Die Beweglichkeit wurde auf einer Skala von 0 (= keine Bewegung möglich) bis 5 (= normale Beweglichkeit) eingestuft.



Foto 8: Prüfen der Patellabeweglichkeit durch manuelles medial/lateral und kaudal/kranial Verschieben

### *Test der tanzenden Patella*

In Rückenlage bei extendiertem Knie wird der suprapatellare Rezessus ausgestrichen und mit der distalen Untersucherhand die Patella gegen das Femur gepresst. Bei einem Gelenkserguss tastet man einen federnden Widerstand. Ein Kniegelenkserguss wurde auf einer Skala von 0 (= großer Erguss) bis 5 (= kein Erguss) eingestuft.



Foto 9: Test der tanzenden Patella durch Ausstreichen des suprapatellaren Recessus und Prüfen des Widerstandes bei Druck der Patella nach dorsal.

#### **4.3.1.4. Messen der Schwellung**

Die Schwellung der Extremität wurde durch Umfangmessung an definierten Punkten evaluiert. Dazu wurde bei Patienten mit Oberschenkelverlängerung oder kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung jeweils auf Höhe des Kniegelenksspaltes, 10 cm proximal und 10 cm distal davon gemessen. Bei Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung wurde auch auf Höhe des Kniegelenksspaltes und 10 cm distal gemessen. Zusätzlich erfolgte eine Messung auf Höhe des OSG und 10 cm proximal.

#### **4.3.1.5. Muskeltonus**

Der Muskeltonus folgender Muskeln wurde durch Palpation bestimmt und nach zunehmendem Tonus auf einer Skala von 0,+,++ und +++ eingeteilt: M. quadriceps femoris, ischiocrurale

Muskulatur, Adduktoren im Hüftgelenk, Tractus iliotibialis, M. tibialis anterior und posterior, M. triceps surae, Zehenflexoren, Mm peronei und Tonus der Achillessehne (Goodyer 2001).

#### 4.3.1.6. Neurologische Tests

- Prüfen der Oberflächensensibilität durch Bestreichen der Haut. Dokumentiert wurden die Hautareale mit veränderter Sensibilität (Gleixner 2002/2003).
- Test der Tiefensensibilität durch die Lageempfindung. Auch hier Dokumentation der Auffälligkeiten (Gleixner 2002/2003).
- N. ischiadicus: „Bei der Lasègue-Prüfung wird das im Kniegelenk gestreckte Bein passiv angehoben. Hierdurch kommt es zur Dehnung des Nervus ischiadicus“ (Niethard 2003). Der Test ist positiv, wenn der Patient bei einer Hüftbeugung kleiner 70° einen ausstrahlenden Schmerz im Bein verspürt. Angegeben wurde der Winkel der Hüftflexion, bei der der Test positiv war.

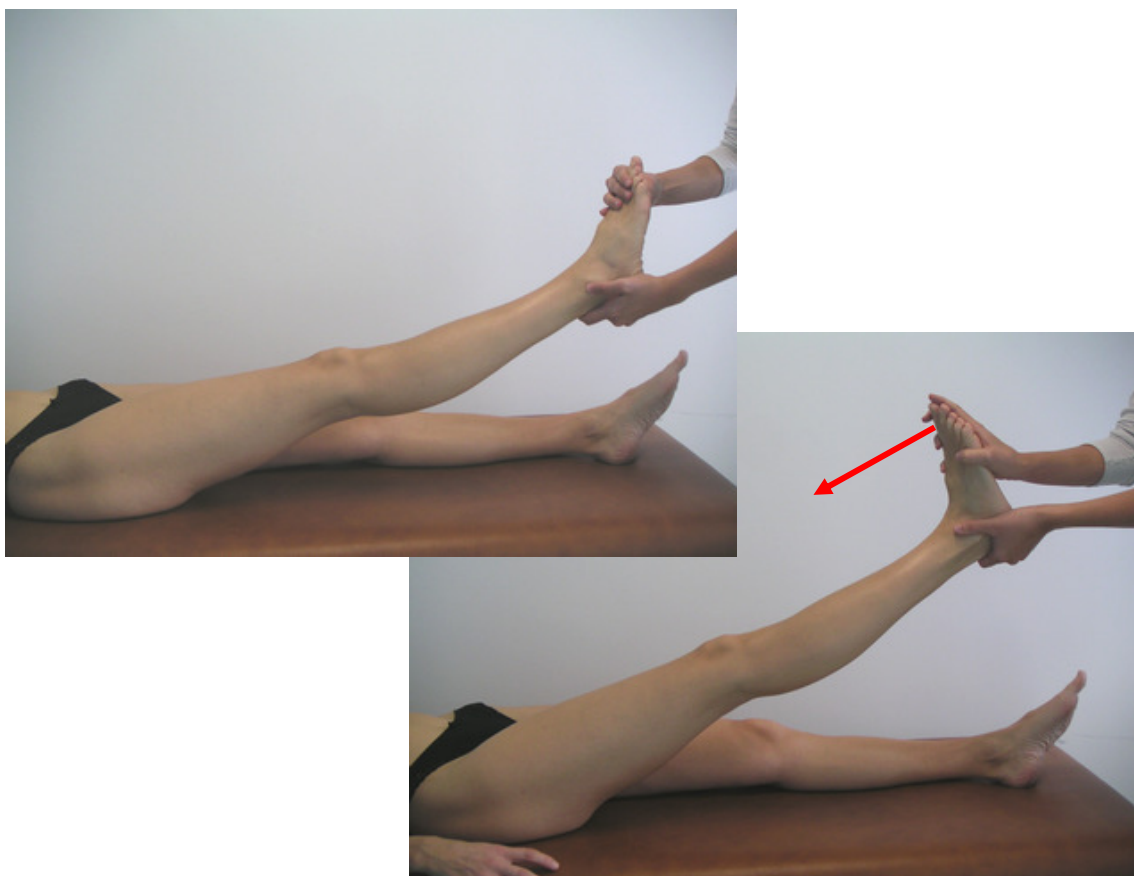


Foto 10: Lasègue-Test: Auftreten eines Schmerzes dorsal der Extremität bei passivem Flektieren des Hüftgelenks bei voll extendiertem Kniegelenk. Dann wird eine Dorsalextension im oberen Sprunggelenk durchgeführt (Bragart-Test).

### **4.3.2. Verlaufsbeobachtung**

Während der Verlaufsbeobachtung in der Verlängerungsphase und der Konsolidierungsphase der Patienten wurden die Untersuchungen analog zur Voruntersuchung wiederholt, wobei jeweils nur noch die betroffene Extremität untersucht wurde. Auf die Muskelfunktionstests musste aufgrund der fehlenden Belastbarkeit während dieser Phasen verzichtet werden.

## **4.4. Einteilung der Patienten in Gruppen**

Zur Auswertung der Daten wurden die Patienten in verschiedene Gruppen eingeteilt. Zunächst wurden die Patienten nach dem jeweiligen verlängerten Knochen in eine Gruppe mit Ober- und Unterschenkelverlängerung, eine Gruppe mit alleiniger Oberschenkelverlängerung und eine Gruppe mit alleiniger Unterschenkelverlängerung zusammengefasst. Des Weiteren wurden die Patienten nach Alter sortiert und nach der Ätiologie der Beinverkürzung sowie nach Geschlecht in Vergleichsgruppen eingeteilt um die Zusammenhänge dieser Faktoren mit den empfundenen Schmerzen und der Bewegungseinschränkung im Verlängerungsverlauf prüfen zu können.

## **4.5. Zusammenarbeit mit Physiotherapie**

Alle Patienten nahmen an einer intensiven Physiotherapie teil. Dabei erfolgte die Behandlung drei- bis viermal pro Woche bei niedergelassenen Physiotherapeuten in der Nähe des Wohnsitzes des Patienten. Einmal pro Woche, wenn die Patienten zur Nachuntersuchung in die Spezialsprechstunde kamen, wurden sie von Physiotherapeuten der Chirurgischen Klinik Innenstadt nach dem im Anhang angegebenen allgemeinen Behandlungsschema behandelt und anschließend von der Autorin nach oben genanntem Schema untersucht. In Absprache mit dem behandelnden Therapeuten wurden auf einem speziellen Therapieverlaufsbogen (siehe Anlage) die aktuellen Messwerte dokumentiert und Therapievorschläge für den niedergelassenen Therapeuten empfohlen. Im Gegenzug evaluierten die niedergelassenen Therapeuten ihre eigene Therapie bezüglich Häufigkeit und Effektivität der angewandten Therapieformen auf einer Skala von 0 bis 5. Des Weiteren sollten sie ihr vorrangiges Behandlungsziel angeben, welche Therapieinhalte zur Anwendung kamen und mit welchen

Maßnahmen das Therapieziel am besten erreicht werden konnte. Über den Fragebogen bestand für die niedergelassenen Therapeuten auch die Möglichkeit, besondere Vorkommnisse oder Auffälligkeiten im Befund anzumerken und Fragen zu stellen.

Dieser Fragebogen diente zum einen der gegenseitigen Evaluation, in erster Linie aber auch der Kommunikation zwischen niedergelassenem Physiotherapeuten, der Physiotherapie im Hause, den Operateuren und der Autorin.

## **4.6. Ambulante Therapiefrequenz der Patienten**

Den Patienten wurde geraten, sich in der Verlängerungsphase vier- bis fünfmal pro Woche einer Physiotherapiebehandlung zu unterziehen. In der Konsolidierungsphase konnte, je nach funktionalem Ergebnis, die Therapiefrequenz auf drei- bis viermal pro Woche gesenkt werden. Die Therapie sollte eine Stunde dauern, wobei 30 Minuten Lymphdrainage und 30 Minuten Physiotherapie oder manuelle Therapie enthalten waren. Ergänzt wurde die Behandlung durch ein intensives Heimübungsprogramm, zu dem die Patienten von ihren Therapeuten angeleitet wurden.

## **4.7. Auswertung**

Um die heterogene Gruppe der Patienten miteinander vergleichen zu können, wurden die Patienten zunächst in drei Gruppen nach dem jeweiligen verlängerten Knochen eingeteilt. Aufgrund der unterschiedlichen Verlängerungsstrecken der einzelnen Patienten variierte die Zahl der Untersuchungen sehr stark. Auch die Zeit bis zum Abschluss der Verlängerungsphase war bei den einzelnen Patienten sehr unterschiedlich. Deshalb wurden aus jeder Messreihe fünf repräsentative Werte herausgenommen, um die Veränderungen der Beweglichkeit und der Muskellänge zu jeweils einheitlichen Zeitpunkten zu vergleichen. Dazu wurde jeweils der präoperative Wert, der erste postoperative Wert, ein Wert nach der Hälfte der Verlängerungsstrecke, ein Wert am Verlängerungsstopp und schließlich die Abschlussuntersuchung nach der Konsolidierungsphase berücksichtigt.

Um nun wiederum eine Aussage darüber treffen zu können, welche Gelenkbewegungen und welche Muskelgruppen sich im Verhältnis besonders stark verändern, wurden die gemessenen Winkel zur jeweils möglichen Maximalbeweglichkeit (Literaturwert siehe Tabelle 1 und 2) ins

Verhältnis gesetzt. Würde man die Winkelveränderungen direkt miteinander vergleichen, so würde z.B. ein 10° Flexionsverlust im Hüftgelenk von z.B. 140° auf 130° die gleiche Bedeutung haben, wie ein Extensionsverlust von 10°. Aus einem 10° Extensionsverlust ergeben sich aber funktionell deutlich größere Probleme. Um dies zu berücksichtigen, wurde eine maximal mögliche Hüftextension von 15° angenommen, und die Verschlechterungen wurden relativ dazu dargestellt.

Verschlechtert sich bei einem Patienten die Hüftextension im Verlauf der Beinverlängerung von 15° Streckung auf 5°, so hat der Patient nur noch eine Beweglichkeit von 0,33 (=33%). Dabei wurde der aktuelle Wert  $\alpha$  durch die maximal mögliche Hüftextension  $\alpha_{\max}$  laut Literaturwert der Tabelle 1 und 2 geteilt, in diesem Fall  $\alpha / \alpha_{\max} = 5^\circ / 15^\circ$ .

Um nun die, aufgrund von Voroperationen oder angeborenen Schäden sehr unterschiedlichen Ausgangswerte der Patienten miteinander vergleichen zu können, wurde der präoperative Wert bei allen Patienten gleich Null gesetzt, und es wurden lediglich die während der Verlängerung aufgetretenen Verschlechterungen berücksichtigt.

Dafür wurde in einem ersten Schritt der präoperative Wert  $x_{\text{präOP}}$  berechnet, indem die Hüftextension vor der Operation durch den Literaturwert geteilt wurde. ( $\alpha_{\text{präOP}} / \alpha_{\max} = x_{\text{präOP}}$ ). Analog dazu wurden die Werte  $x_{\text{postOP}}$ ,  $x_{\text{Mitte Verlängerung}}$ ,  $x_{\text{Verlängerungsstopp}}$  und  $x_{\text{Abschußuntersuchung}}$  ermittelt. In einem weiteren Schritt wurde der präoperative Wert  $x_{\text{präOP}}$  vom Wert  $x_{\text{postOP}}$ ,  $x_{\text{Mitte Verlängerung}}$ ,  $x_{\text{Verlängerungsstopp}}$  und  $x_{\text{Abschußuntersuchung}}$  abgezogen.

Wenn z.B. der Patient präoperativ einen Hüftextensionswert von 10° hat und er sich im Laufe der Verlängerungsbehandlung um 5° verschlechtert, so hat er effektiv 5° Extension verloren. Ein präoperativer Extensionswert von 10° Hüftextension ergäbe dann einen Wert von 0,66 ( $\alpha_{\text{präOP}} / \alpha_{\max} = 10^\circ / 15^\circ = 0,66$ ), der postoperative Wert  $\alpha_{\text{postOP}}$  ergäbe den Wert 0,33 ( $\alpha_{\text{postOP}} / \alpha_{\max} = 5^\circ / 15^\circ = 0,33$ ).

Will man jetzt den präoperativen Wert auf Null setzen, so muss man 0,66 von der errechneten Extensionsverschlechterung abziehen, hier  $0,33 - 0,66 = -0,33$  (= -33%). Im Vergleich dazu würde eine Verschlechterung der Hüftflexion von 140° auf 130°, bei einer maximal möglichen Hüftflexion von 140° eine Verschlechterung von -0,07 (entspricht -7%) bedeuten. ( $130 / 140 = 0,93 \Rightarrow 0,93 - 1 = -0,07$  (-7%)).

Bei den Säulendiagrammen im Ergebnisteil wurden die Verschlechterungen zur besseren Übersichtlichkeit positiv dargestellt. So würde ein Extensionswert von -0,33 eine während der Behandlung aufgetretene Verschlechterung von 0,33 (= 33% Verschlechterung) im Vergleich zum präoperativen Wert bedeuten.

Tabelle 1: Literaturwerte nach Neutral-Null. Als Maximalwerte  $\alpha_{\max}$  wurden die maximalen Gelenkbeweglichkeiten nach der Neutral-Null-Methode angenommen: (Schäffler 1996)  
Für die *Muskelndehnungswerte* wurden die Gelenkwinkel der Neutral-Null-Methode verwendet, bei denen der entsprechende Muskel auf maximale Dehnungslänge kommt. Sie wurden unter der jeweiligen Gelenkbewegung *kursiv* dargestellt. Zu dem in der Tabelle angegebenen Werten  $\alpha_{\max}$  wurden die während der Verlängerung gemessenen Beweglichkeiten relativ genommen.

Gelenkbeweglichkeit nach Neutral-Null	$\alpha_{\max}$
<b>Flexion Hüftgelenk</b>	<b>140°</b>
<i>Lasègue</i>	<i>70°</i>
<b>Extension Hüftgelenk</b>	<b>15°</b>
<i>M. iliopsoas</i>	<i>15°</i>
<b>Flex/Ext Hüfte gesamt</b>	<b>155°</b>
<b>Abduktion Hüftgelenk</b>	<b>45°</b>
<i>Kurze Adduktoren</i>	<i>45°</i>
<i>M. gracillis</i>	<i>45°</i>
<i>M. adduktor magnus</i>	<i>90°</i>
<b>Adduktion Hüftgelenk</b>	<b>30°</b>
<b>Abd/Add Hüfte gesamt</b>	<b>75°</b>
<b>Außenrotation Hüftgelenk</b>	<b>50°</b>
<i>Innenrotatoren Hüfte</i>	<i>50°</i>
<b>Innenrotation Hüftgelenk</b>	<b>45°</b>
<i>Außenrotatoren Hüfte</i>	<i>45°</i>
<b>Aro/Iro Hüfte gesamt</b>	<b>95°</b>
<b>Flexion Kniegelenk</b>	<b>150°</b>
<i>M. rectus femoris</i>	<i>150°</i>
<i>Elytest</i>	<i>150°</i>
<b>Extension Kniegelenk</b>	<b>10°</b>
<i>Ischiocrurale Muskulatur</i>	<i>10°</i>
<b>Knie gesamt</b>	<b>160°</b>
<b>Dorsalextension OSG</b>	<b>30°</b>
<i>M. gastrocnemius</i>	<i>30°</i>
<i>M soleus</i>	<i>30°</i>
<i>M. tibialis post.</i>	<i>30°</i>
<b>Plantarflexion OSG</b>	<b>50°</b>
<i>M. tibialis ant.</i>	<i>50°</i>
<i>Mm. Peronaei</i>	<i>50°</i>
<b>OSG gesamt</b>	<b>80°</b>
<b>Zehenflexion</b>	<b>70°</b>
<b>Zehenextension</b>	<b>45°</b>
<b>Zehen gesamt</b>	<b>115°</b>



Tabelle 2: Hier werden die Maximalwerte gezeigt, die für die Berechnung von speziellen Tests und Muskeln genommen wurden. Bei der Pronation und Supination im USG wurde die volle Bewegungsamplitude mit 3/3 angenommen (Bewegungseinschränkungen wurden in Dritteln angegeben). Beim FBA wurde der tatsächlich gemessene Wert durch -10 geteilt. Bei den vier unten stehenden Tests bekam der Patient auf einen Normalbefund einen Punktwert von maximal 5. Alle Einschränkungen wurden zu diesem Wert relativ genommen.

<b>Spezielle Tests und Bewegungsprüfungen</b>	<b>Maximalwerte</b>
Pronation im USG	3 (Einteilung in Drittel)
Supination im USG	3 (Einteilung in Drittel)
Finger-Boden-Abstand (FAB)	-10 cm (flache Hand auf dem Boden)
Test des M. satorius	5 Punkte (Einteilung von 0= starke Abweichung bis 5=keine Veränderung)
Test des M. tensor fasciae latae	5 Punkte (Einteilung von 0= starke Abweichung bis 5=keine Veränderung)
Test der Patellabeweglichkeit	5 Punkte (Einteilung von 0=keine Bewegung bis 5= normale Beweglichkeit)
Test auf einen Kniegelenkserguss	5 Punkte (Einteilung von 0=großer Erguss bis 5= kein Erguss)

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Veränderungen während der Verlängerungsbehandlung

#### 5.1.1. Veränderung der Gelenkbeweglichkeit

##### 5.1.1.1. Ober- und Unterschenkelverlängerung

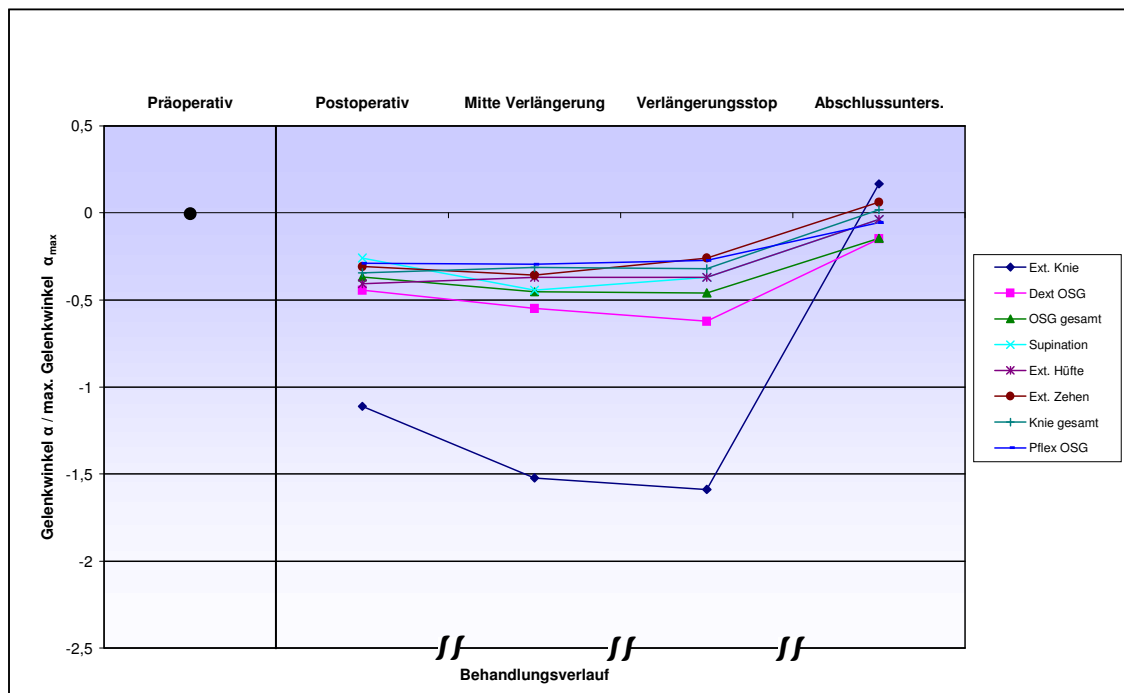


Abb. 1: Veränderung der Gelenkbeweglichkeit im Durchschnitt aller Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung zu den jeweiligen Zeitpunkten im Verlauf der Verlängerungsbehandlung; n=9

Abbildung 1 zeigt die Veränderungen der Beweglichkeit im Zeitverlauf der Distraktionsbehandlung bei Patienten mit simultaner Ober- und Unterschenkelverlängerung. Die einzelnen Kurven geben die anteilige Veränderung der entsprechenden Gelenkbeweglichkeiten an. Dabei wurde jeweils der Mittelwert der Verschlechterung aller Patienten zu dem jeweiligen Zeitpunkt genommen. Die Anteile wurden nach dem unter Punkt 4.7 beschriebenen System ermittelt. Für bessere Übersichtlichkeit sind lediglich die acht Beweglichkeiten angegeben, die sich im Verlängerungsverlauf am stärksten veränderten. Gelenkbeweglichkeiten, bei denen es zu keiner Veränderung im Verlängerungsverlauf kam, sind nicht dargestellt.

Zu den untersuchten Gelenkbeweglichkeiten gehörten im Hüftgelenk die Abduktion und Adduktion, die Extension und Flexion sowie die Innen- und Außenrotation. Das Kniegelenk wurde hinsichtlich Extensions- und Flexionsbeweglichkeit beurteilt. Im oberen Sprunggelenk wurde die Dorsalextension und Plantarflexion, im unteren Sprunggelenk die Pronations- und Supinationsbewegung evaluiert. Die Zehengelenke wurden hinsichtlich Extensions- und Flexionsfähigkeit bewertet. Zusätzlich wurde die Gesamtbeweglichkeit der jeweiligen Gelenke in jeder Bewegungsrichtung untersucht.

Es zeigte sich, dass es im Behandlungsverlauf zu einer sehr starken Einschränkung der Knieextension kam, die bei einem Patienten zur Revisionsoperation führte, sich aber ansonsten ohne operative Revision bei 56% der Patienten bis zur letzten Messung zurückbildete. Ein Patient zeigte sogar bessere Werte als präoperativ.

Auch die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk zeigte deutliche Veränderungen, die sich bis zur Abschlussuntersuchung in 56% der Fälle verbesserte. Bei drei Patienten konnten die präoperativen Ausgangswerte noch verbessert werden.

Bei der Gesamtbewegung im oberen Sprunggelenk konnten die Vorwerte in 44% der Fälle bis zur Abschlussuntersuchung erreicht werden. Bei fünf Patienten wurde die präoperative Beweglichkeit zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht erreicht.

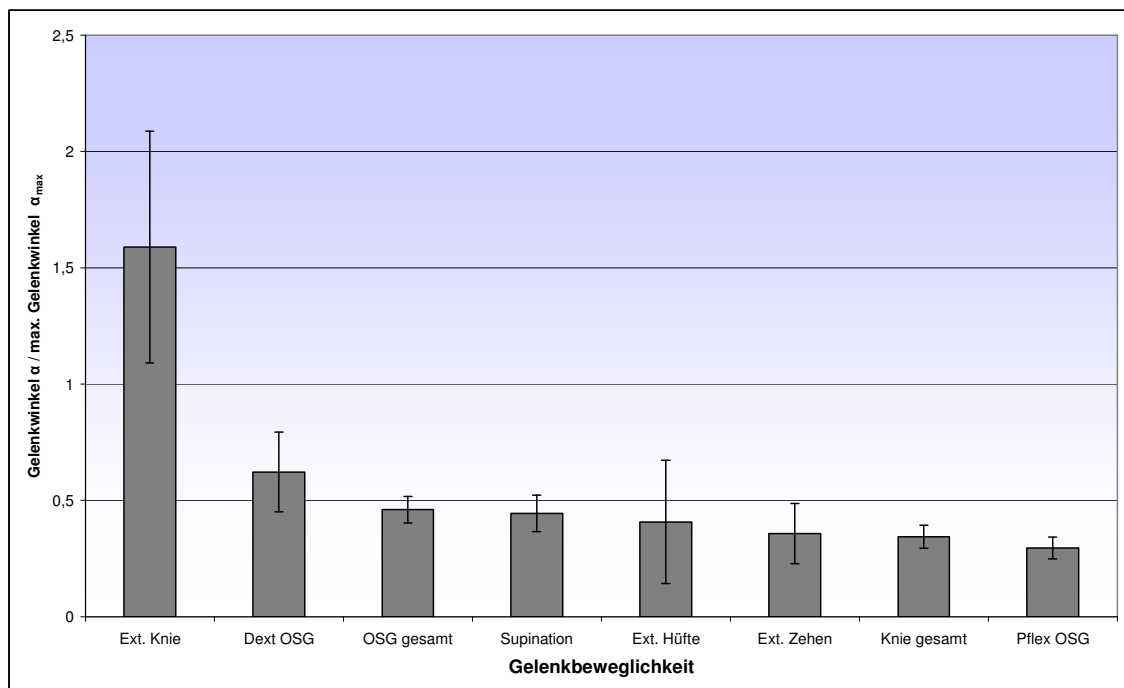
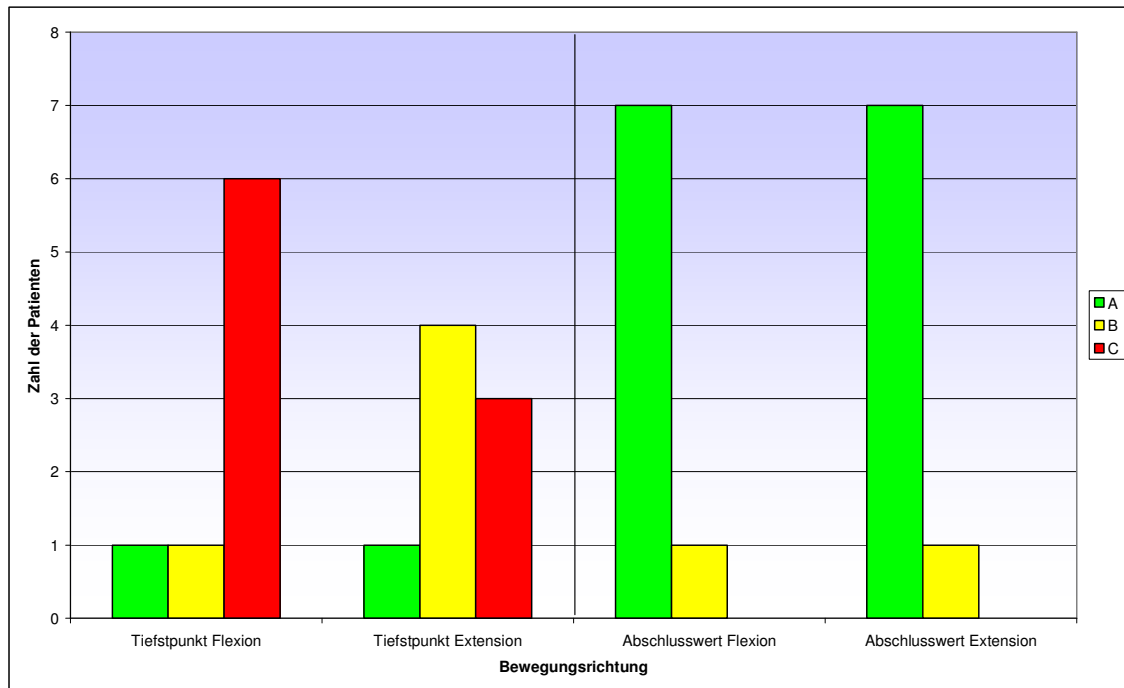


Abb. 2: Relative Auftragung mit Standardfehler der durchschnittlichen maximalen Bewegungseinschränkung im Verlängerungsverlauf der Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=9

In Abbildung 2 wurde analog zu Abbildung 1 jeweils der Mittelwert der Veränderungen der Gelenkbeweglichkeit aller Patienten mit Ober- und Unterschenkelverlängerung ermittelt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden hier die Minimalwerte, entsprechend der jeweils tiefsten Punkte der einzelnen Kurven von Abbildung 1, nach Größe sortiert dargestellt. Diese Punkte

entsprechen den durchschnittlich schlechtesten Werten während der Verlängerung. Für die bessere Übersichtlichkeit wurden hier und in den folgenden Tabellen die Verschlechterungen positiv dargestellt. Ein Wert von 1,5 entspricht einer Verschlechterung von 150% im Durchschnitt, verglichen mit der laut Literatur möglichen Bewegungsamplitude.

Auch hier zeigte sich, dass die Knieextension im Verlängerungsverlauf mit einer durchschnittlichen Verschlechterung von 1,6 die deutlichsten Veränderungen aufwies.



	Flexion	Extension
<b>A</b>	über 110°	über 0°
<b>B</b>	110° bis 90°	0° bis -10°
<b>C</b>	unter 90°	unter -10°

Abb. 3: Vergleich der funktionellen Einschränkungen der Knieextension und Knieflexion bei Patienten mit Ober- und Unterschenkelverlängerung. Es wurden jeweils der schlechteste Wert während der Behandlung und der Abschlusswert im Durchschnitt gegenüber gestellt; n=8 (ein Patient wurde wegen Revision aus der Wertung genommen)

In Abbildung 3 wurde bei den Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung jeweils die funktionelle Einschränkung des Extensions- und Flexionsverlustes verglichen. Dabei wurden die Beweglichkeiten in drei Stufen eingeteilt. Der Bereich A bedeutet, dass der Patient keine funktionellen Einschränkungen haben dürfte. Im Bereich B ist es schon zu deutlichen Veränderungen gekommen und im Bereich C leidet der Patient unter extremen funktionellen Einschränkungen, die intensiv therapiert werden müssen und Schwerpunkt der Physiotherapiebehandlung sein sollten. Ein Extensionsdefizit von unter -10° wurde zusätzlich mit einer Quengel-schiene behandelt und führte bei weiterer Verschlechterung zum Abbruch der Behandlung.

Es zeigte sich, dass 6 Patienten im Verlängerungsverlauf eine Kontraktur von unter 90° Flexion entwickelten. Bis zur Abschlussuntersuchung lagen sieben von acht Patienten wieder im Bereich A mit einer Flexion von über 110° im Kniegelenk. Bei drei Patienten entwickelte sich ein Extensionsdefizit im Kniegelenk von 0 bis -10°, bei drei Patienten verringerte sich die Knieextension sogar auf Werte von unter -10°. Ein Patient musste aufgrund seines schlechten Extensionsniveaus revidiert werden und wurde bei Abbildung 3 nicht gewertet. Bei der Abschlussuntersuchung konnten sieben von acht Patienten das Kniegelenk wieder voll strecken.

### 5.1.1.2. Oberschenkelverlängerung

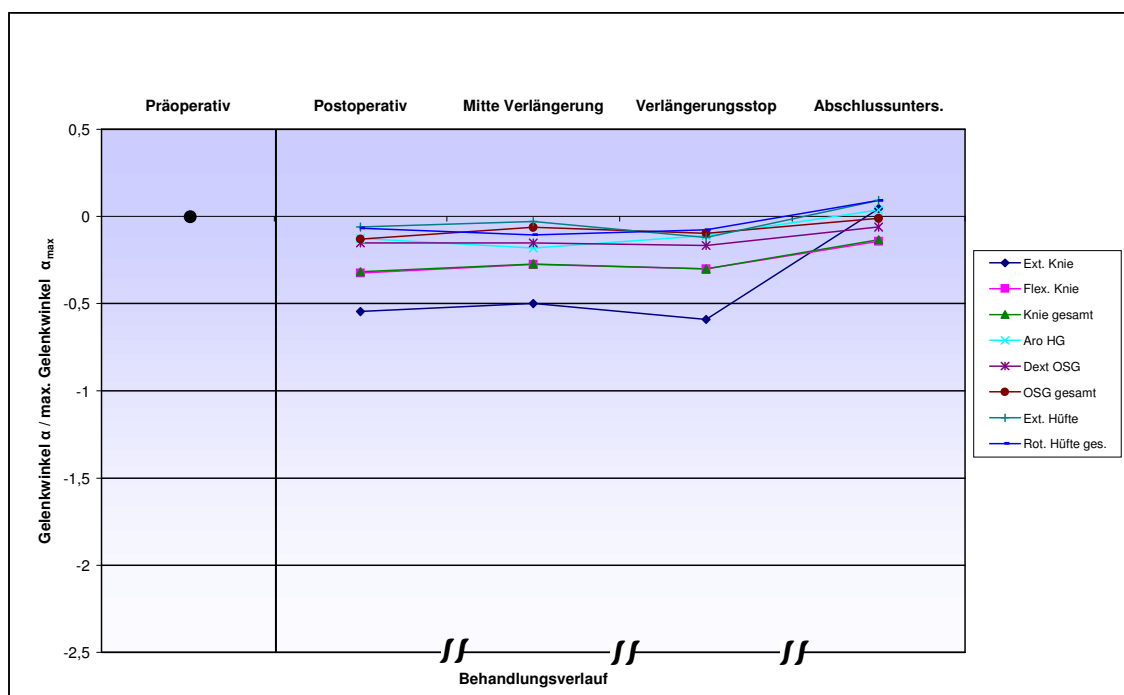


Abb. 4: Veränderung der Gelenkbeweglichkeit im Durchschnitt aller Patienten mit Oberschenkelverlängerung zu den jeweiligen Zeitpunkten im Verlauf der Distraction; n=11

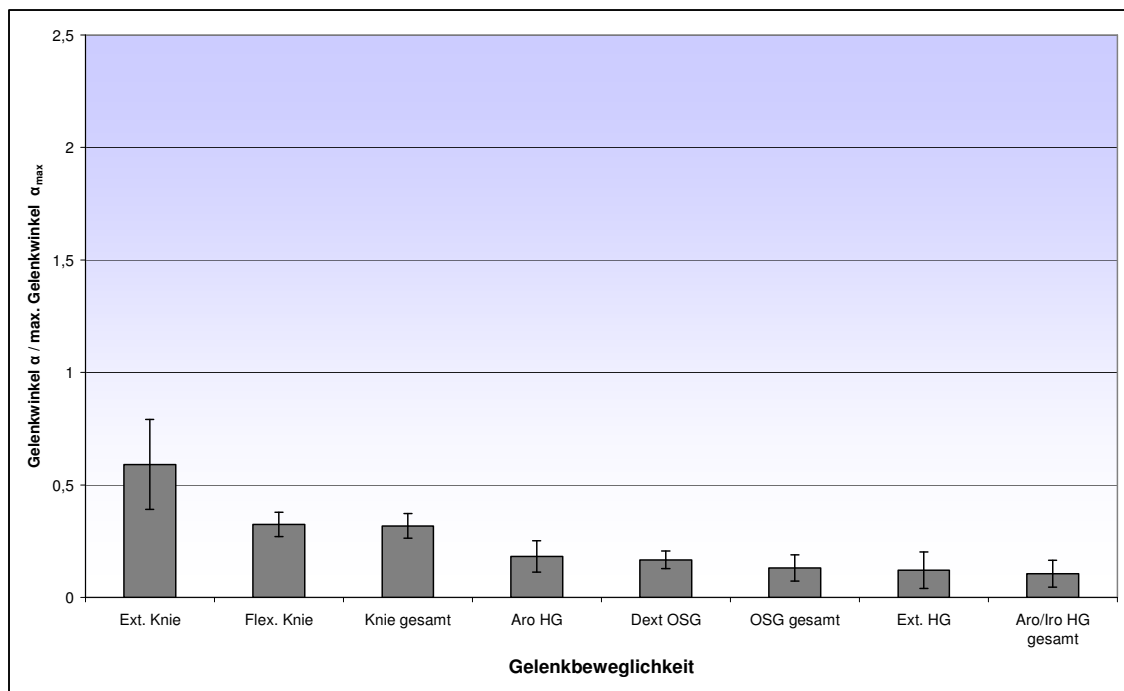
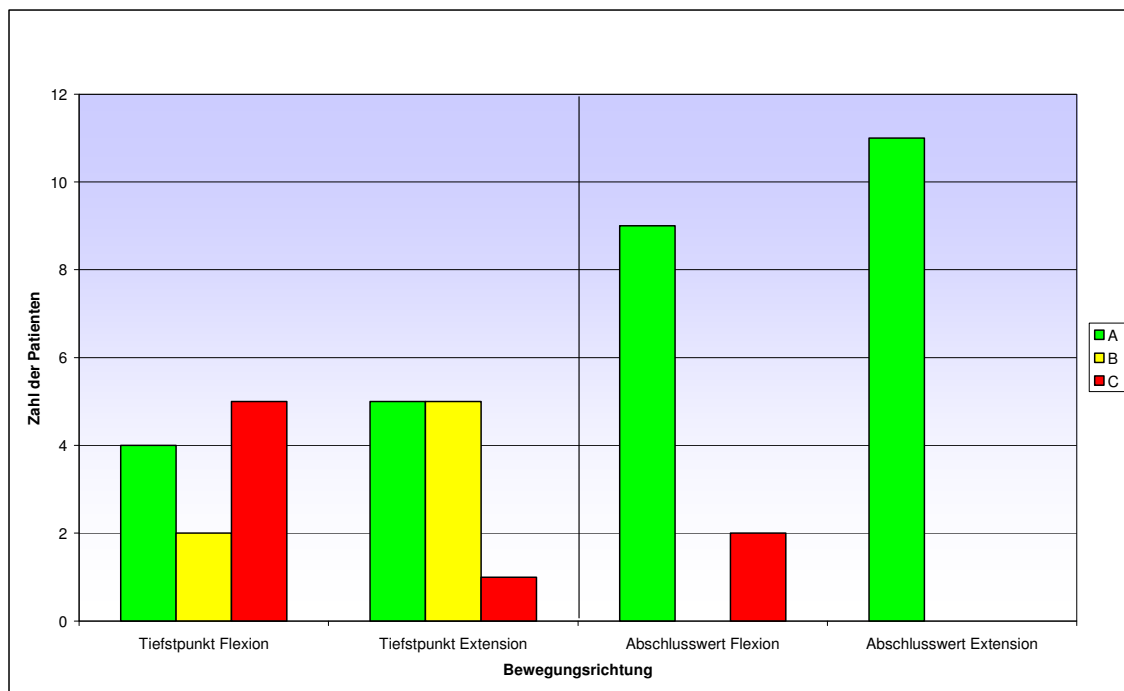


Abb. 5: Relative Auftragsung mit Standardfehler der durchschnittlichen maximalen Bewegungseinschränkung im Verlauf der Oberschenkelverlängerung; n=11

Abbildungen 4 und 5 wurden analog zu Abbildungen 1 und 2 für die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung erhoben.

Insgesamt fielen die Veränderungen deutlich schwächer aus als bei einer kombinierten Distraction. Es zeigte sich, dass auch hier die Knieextension im Verlängerungsverlauf am stärksten zurückging, jedoch bis zur Abschlussuntersuchung der präoperative Wert von 82% der Patienten wieder erreicht wurde. Bei drei Patienten kam es sogar zu einer Verbesserung der Knieextension verglichen mit den präoperativen Werten. Auch bei der Knieflexion kam es zu Einschränkungen, die sich bis zur Abschlussuntersuchung nur bei einem Patienten vollständig zurückbildeten. Bei 82% der Patienten konnten aber Flexionswerte von über 120° gemessen werden.



	Flexion	Extension
<b>A</b>	über 110°	über 0°
<b>B</b>	110° bis 90°	0° bis -10°
<b>C</b>	unter 90°	unter -10°

Abb. 6: Vergleich der funktionellen Einschränkungen der Knieextension und Knieflexion bei Oberschenkelverlängerung. Es wurden jeweils der schlechteste Wert während der Behandlung und der Abschlusswert im Durchschnitt gegenüber gestellt; n=11

Bei der alleinigen Oberschenkelverlängerung verschlechterte sich bei fünf Patienten die Knieflexion bis in den kritischen Bereich von unter 90°, bei zwei Patienten kam es zu einem Beugedefizit von 90° bis 110°, vier Patienten zeigten nur geringfügige Veränderungen im Bereich der Knieflexion. Bis zur Abschlussuntersuchung lag bei neun Patienten der Wert wieder im ungefährlichen Bereich A, zwei Patienten konnten einen Wert von über 90° nicht erreichen. Die Knieextension machte den Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung funktionell weniger Probleme. Bei fünf Patienten verringerte sich das Extensionsniveau auf unter 0°, nur ein Patient kam in den kritischen Bereich von unter -10°. Bei der Abschlussuntersuchung befanden sich alle untersuchten Patienten im Bereich über 0°.

### 5.1.1.3. Unterschenkelverlängerung

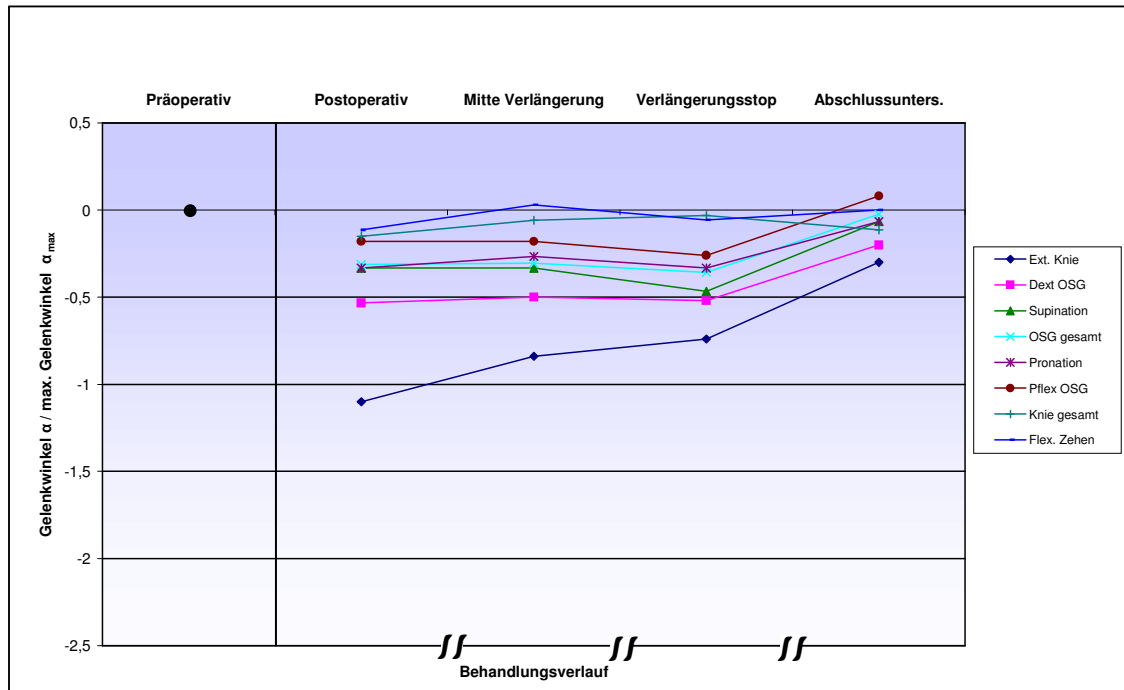


Abb. 7: Veränderung der Gelenkbeweglichkeit im Durchschnitt aller Patienten mit Unterschenkelverlängerung zu den jeweiligen Zeitpunkten im Verlauf der Verlängerungsbehandlung. n=5

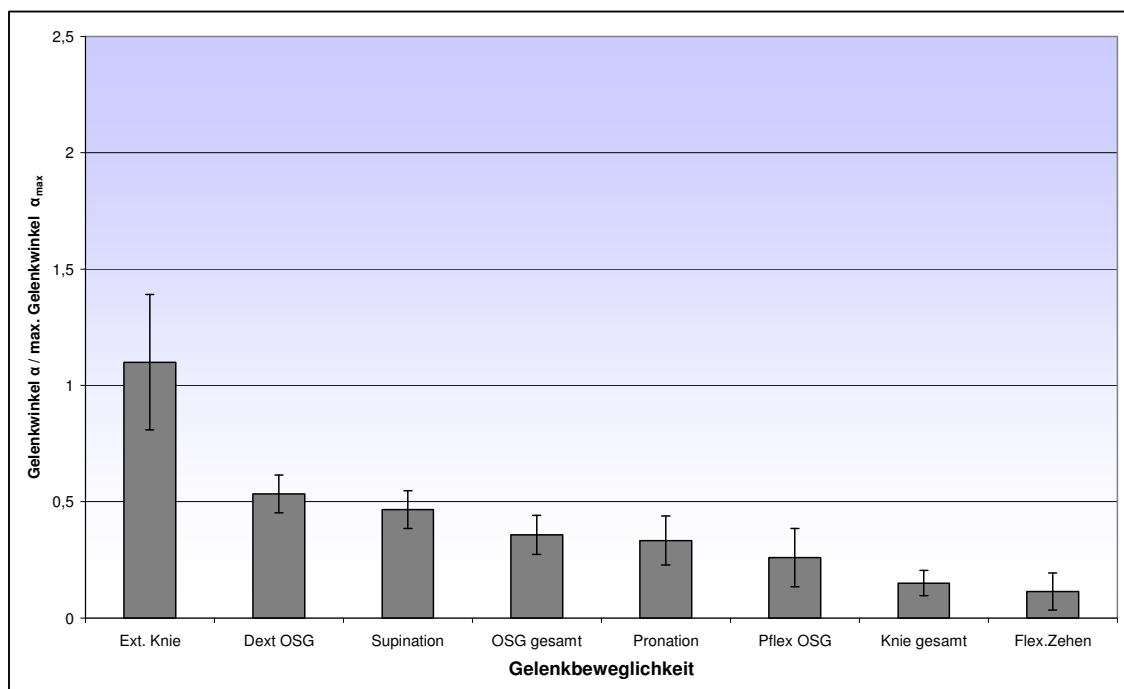


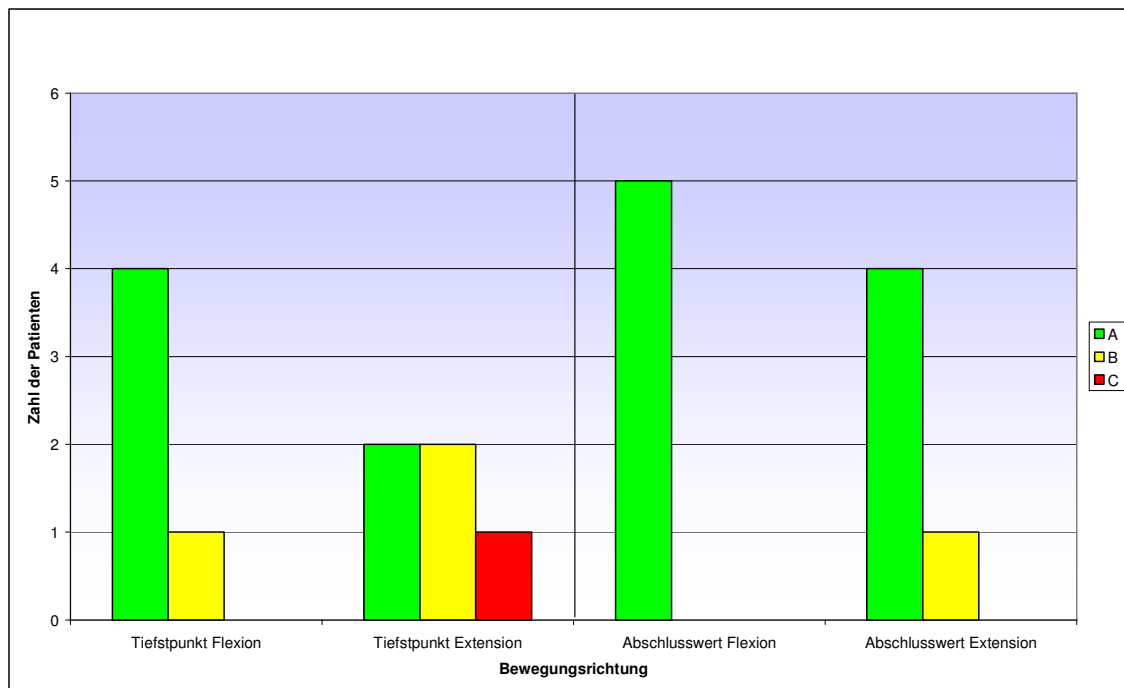
Abb. 8 Relative Auftragung mit Standardfehler der durchschnittlichen maximalen Bewegungseinschränkung im Verlauf bei Unterschenkelverlängerung; n=5



Abbildungen 7 und 8 wurden ebenfalls analog zu Abbildungen 1 und 2 für die Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung erhoben.

Hier zeigte sich, dass wiederum die Knieextension im Laufe der Distraktionsbehandlung sehr stark beeinträchtigt war, sich im Verlauf deutlich verbesserte, aber bei der Anschlussuntersuchung der Ausgangswert nur von 40% der Patienten erreicht wurde. Die Nullstellung wurde von 80% der Studienteilnehmer erlangt.

Auch im oberen Sprunggelenk kam es zu deutlichen Einschränkungen, die sich jedoch bis zu der Abschlussuntersuchung verbesserten und in 40% der Fälle vollständig zurückbildeten. Zwei Patienten erreichten 0° bei der Abschlussuntersuchung noch nicht.



	Flexion	Extension
<span style="background-color: green; color: black;"> </span>	über 110°	über 0°
<span style="background-color: yellow; color: black;"> </span>	110° bis 90°	0° bis -10°
<span style="background-color: red; color: black;"> </span>	unter 90°	unter -10°

Abb. 9: Vergleich der funktionellen Einschränkungen der Knieextension und Knieflexion bei Unterschenkelverlängerung. Es wurden jeweils der schlechteste Wert während der Behandlung und der Abschlusswert im Durchschnitt gegenüber gestellt; n=5.

Bei der Unterschenkeldistraktion war die Flexionsfähigkeit des Knies nur bei einem untersuchten Patienten im Bereich unter 110°, bis zur Abschlussuntersuchung waren alle 5 Patienten in einem unkritischen Bereich. Drei Patienten zeigten im Verlängerungsverlauf eine Einschränkung der Knieextension, ein Patient entwickelte ein Streckdefizit von -15°. Im Laufe der Therapie konnte der Wert bei 4 Patienten normalisiert werden, nur ein Patient erreichte die Nullstellung nicht.

## 5.1.2. Veränderung der Muskeldehnfähigkeit

Untersucht wurden folgende Muskeln und Funktionen: M. iliopsoas, M. rectus femoris, M. satorius, Elytest, M. tensor fasciae latae, ischiocrurale Muskulatur, Finger-Boden-Abstand (FAB), Lasèque-Test, kurze Adduktoren, M. gracillis, M. adduktor magnus, Außenrotatoren Hüftgelenk, Innenrotatoren Hüftgelenk, M. gastrocnemius, M. soleus, M. tibialis posterior, M. tibialis anterior, Mm. Peronaei und die Patellabeweglichkeit.

### 5.1.2.1. Ober- und Unterschenkelverlängerung

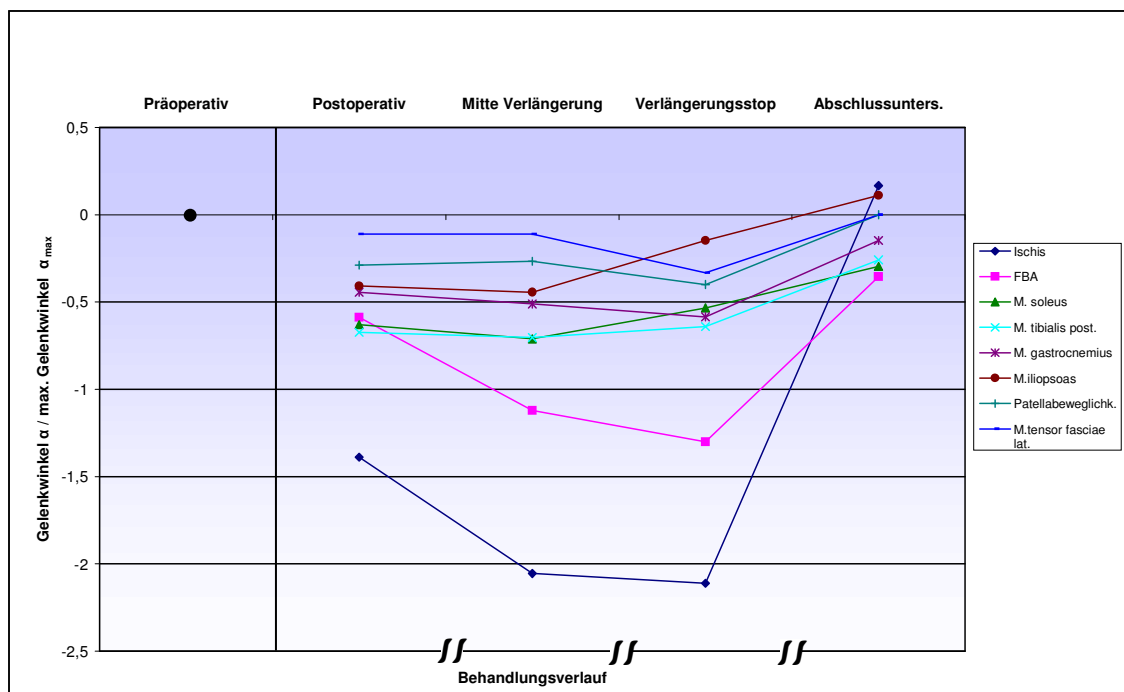


Abb. 10: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen der Muskeldehnfähigkeiten und funktioneller Tests im Verlauf der Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=9

Abbildung 10 wurde nach dem gleichen Prinzip erstellt wie Abbildung 1, nur dass hier nicht die Gelenkbeweglichkeiten berücksichtigt wurden, sondern die Dehnfähigkeit der angrenzenden Muskeln.

Auch hier wurden, zur besseren Übersichtlichkeit, die acht Muskeln isoliert dargestellt, bei denen es die größten Veränderungen während der Distraktionsbehandlung gab.

Während der Behandlung kam es zu einer deutlichen Einschränkung der Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur. Dies spiegelt sich auch in der Veränderung des Finger-Boden-Abstandes wider. Bis zur letzten Messung normalisierte sich bei 55% der Patienten die

Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur wieder. Nur bei einem Patienten kam es zu einer Verkürzung von über 10° gegenüber des Ausgangswertes bei der Abschlussuntersuchung.

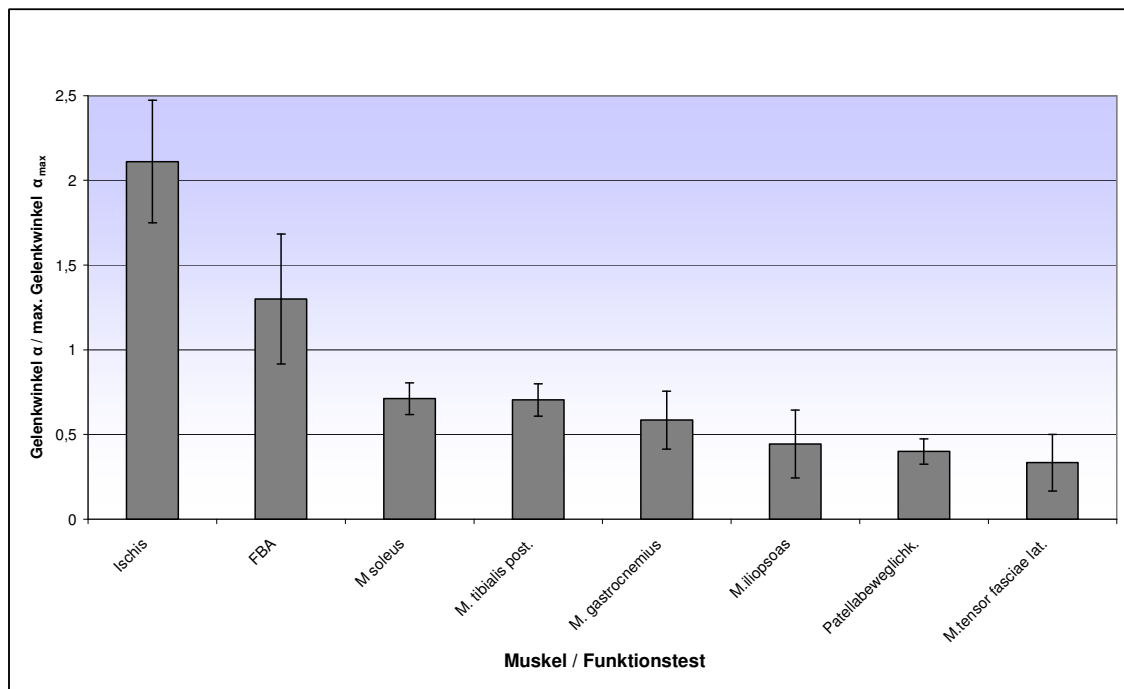


Abb. 11: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung der jeweiligen Muskeldehnfähigkeiten und funktionellen Tests bei Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=9

In Abbildung 11 wurde analog zu Abbildung 2 verfahren, nur wurden die jeweilig schlechtesten Werte der Muskeldehnungstests miteinander verglichen.

Hier wird deutlich, dass es zu starken Veränderungen im Bereich der ischiocruralen Muskulatur und des Finger-Boden-Abstandes kam.

### 5.1.2.2. Oberschenkelverlängerung

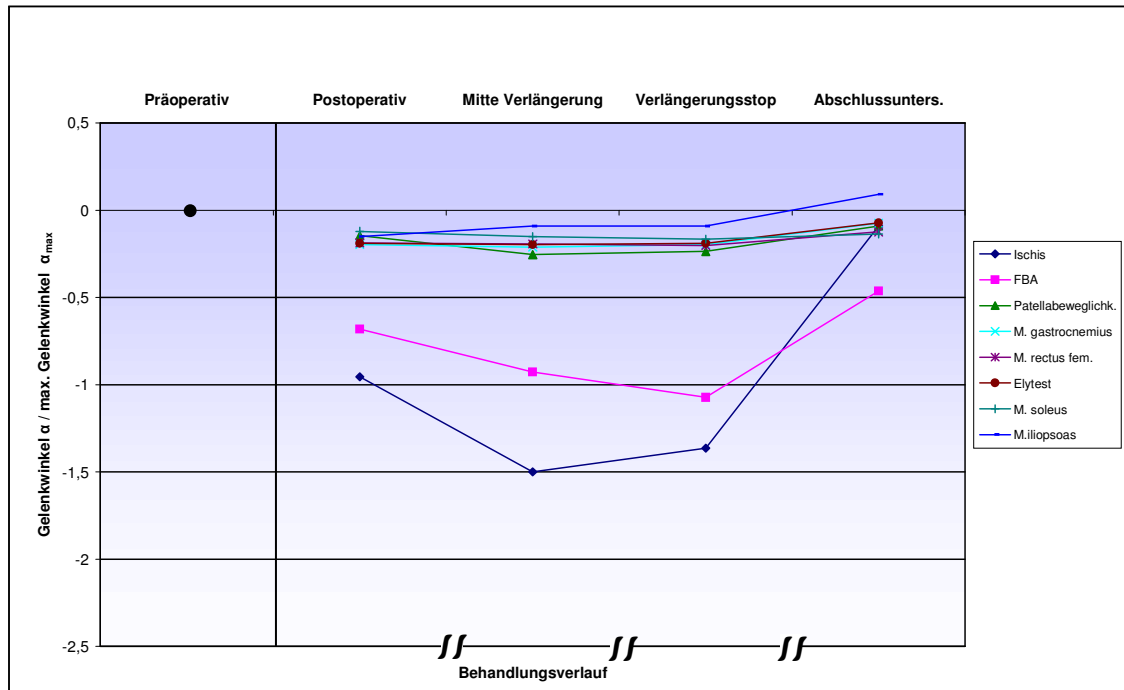


Abb. 12: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen der Muskeldehnfähigkeiten und funktioneller Tests bei Oberschenkelverlängerung; n=11

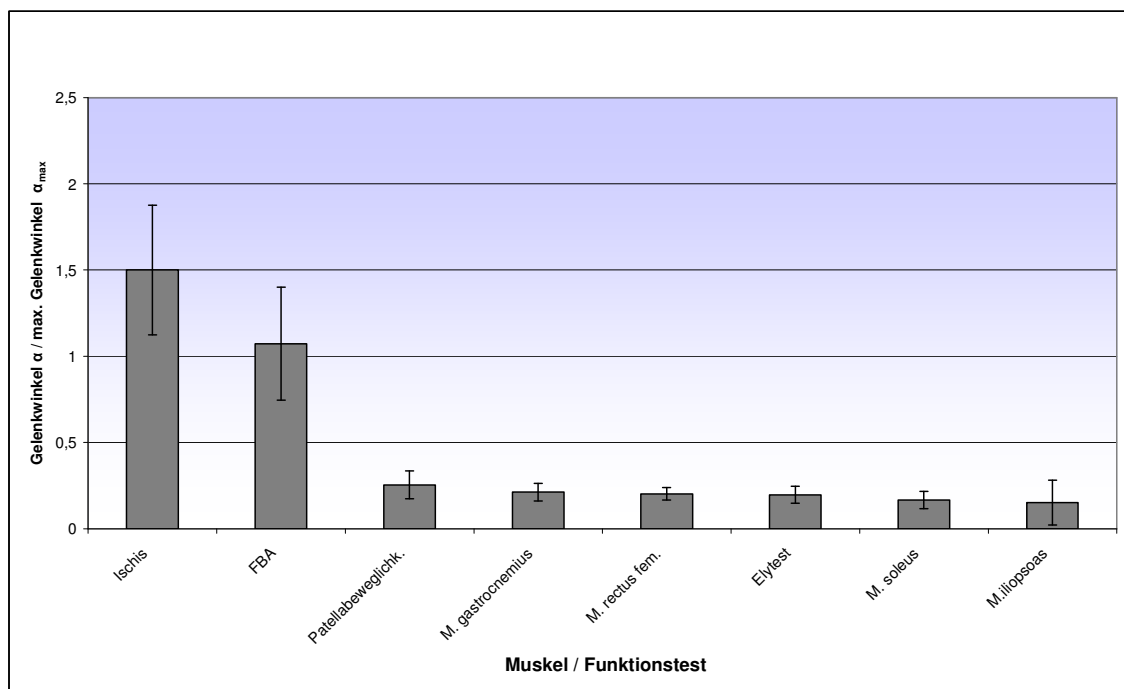


Abb. 13: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung der jeweiligen Muskeldehnfähigkeiten und funktionellen Tests bei Oberschenkelverlängerung; n=11

Abbildungen 12 und 13 wurden nach dem gleichen Prinzip wie Abbildungen 10 und 11 erstellt, nur wurden hier die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung evaluiert.

Auch bei alleiniger Oberschenkelverlängerung sind die größten Veränderungen im Bereich der dorsalen Oberschenkelmuskulatur zu finden. Es kam bei über 90% der Patienten zu einer Einschränkung der Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur und des FBA, die sich aber in beiden Fällen zu 64% vollständig zurückbildete. Zwei Patienten konnten ihre präoperativen Ausgangswerte sogar verbessern. Nur bei 18% der Patienten zeigte sich bei der Abschlussuntersuchung eine Verkürzung der ischiocruralen Muskulatur von mehr als 10° im Vergleich zum präoperativen Wert.

### 5.1.2.3. Unterschenkelverlängerung

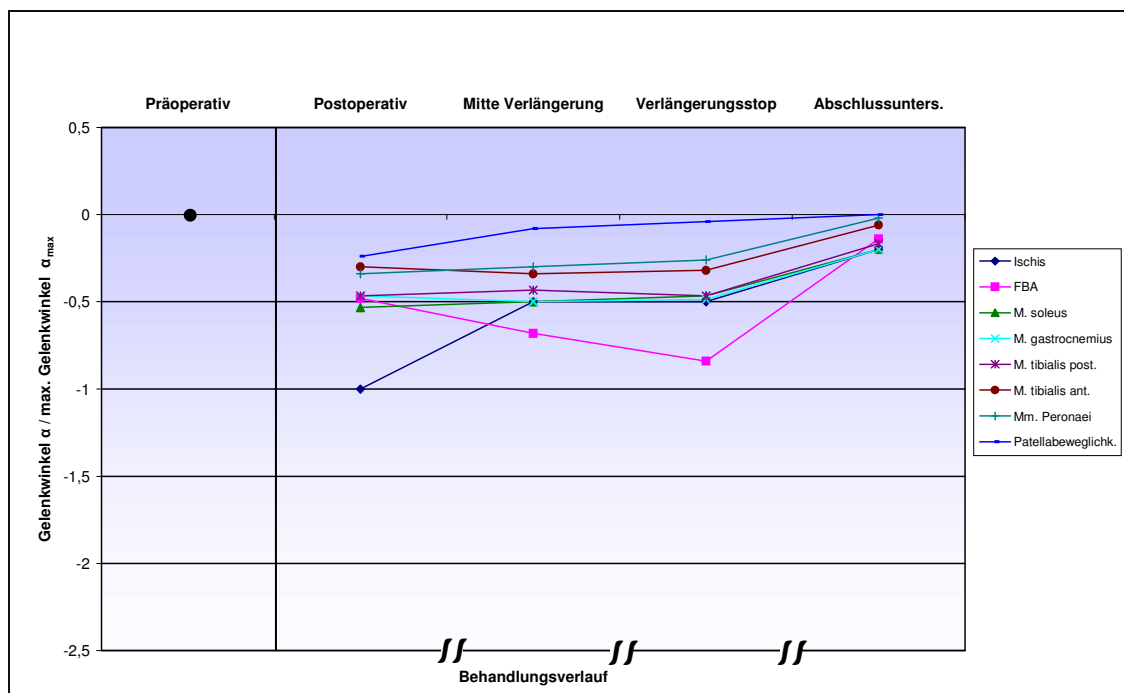


Abb. 14: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen der Muskeldehnfähigkeiten und funktioneller Tests im Verlauf der Unterschenkelverlängerung; n=5

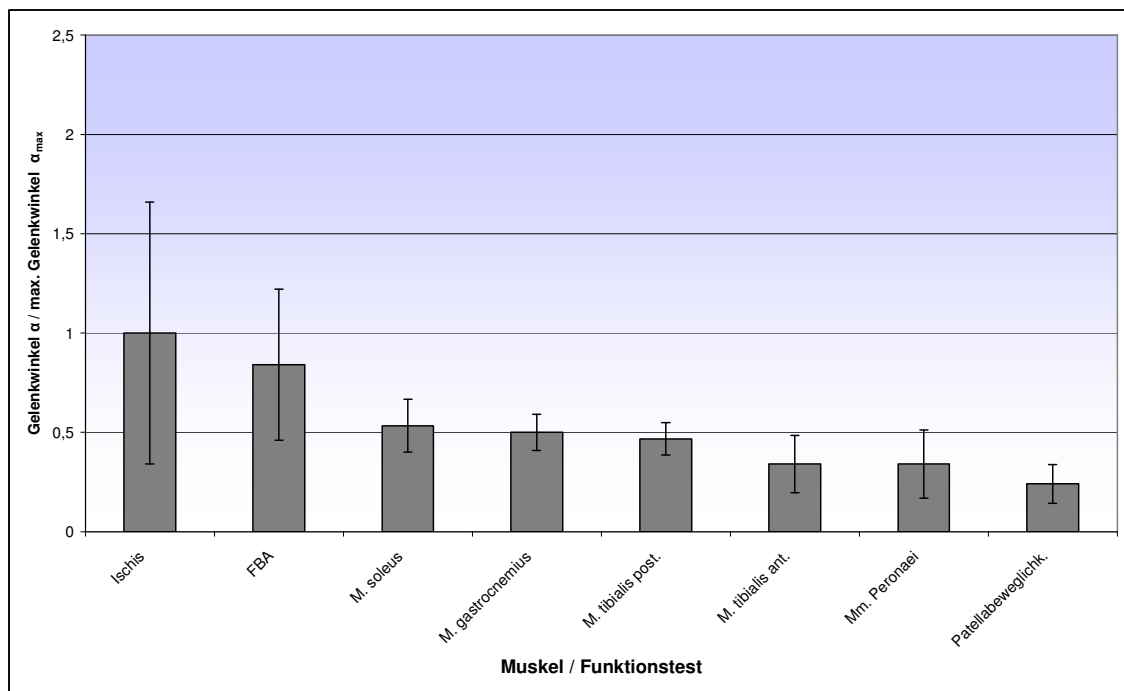


Abb. 15: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung der jeweiligen Muskeldehnfähigkeiten und funktionellen Tests bei Unterschenkelverlängerung; n=5

Abbildungen 14 und 15 wurden ebenfalls nach dem gleichen Prinzip wie Abbildungen 10 und 11 erstellt. Dabei wurden die Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung untersucht.

Bei Unterschenkel distraction kam es im Bereich der dorsalen Oberschenkelmuskulatur am stärksten zu einer Verminderung der Dehnfähigkeit, allerdings um über ein Prozentpunkt weniger als bei kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung und um 0,5 Prozentpunkte weniger als bei alleiniger Oberschenkelbehandlung. Vier von fünf Patienten (80%) zeigten bei der Abschlussuntersuchung eine Zurückbildung der Einschränkungen. Bei drei Patienten (60%) war die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur sogar besser als vor der Operation. Es zeigten sich auch deutliche Veränderungen der Dehnfähigkeiten der OSG-Muskulatur, besonders der Wadenmuskulatur. Nur zwei Patienten (40%) erreichten bis zur Abschlussuntersuchung ihren Ausgangswert. Bei einem Patienten verschlechterte sich die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk um mehr als 10°.

### 5.1.3. Veränderung des Muskeltonus

#### 5.1.3.1. Ober- und Unterschenkelverlängerung

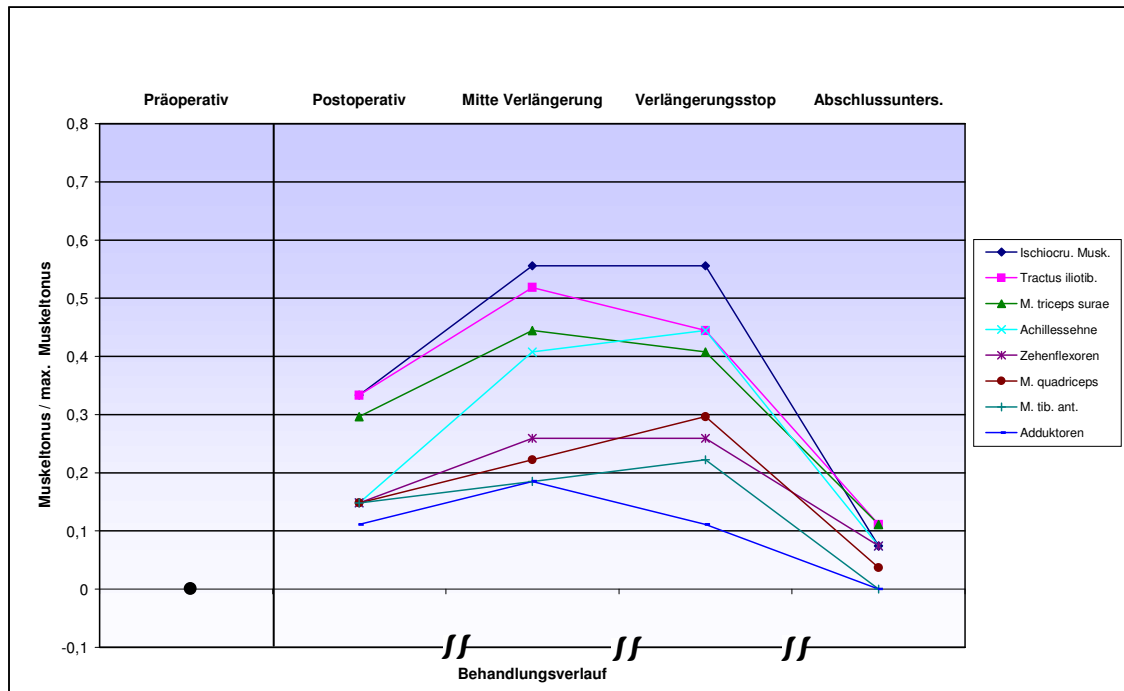


Abb. 16: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen des Muskeltonus im Verlauf der Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=9

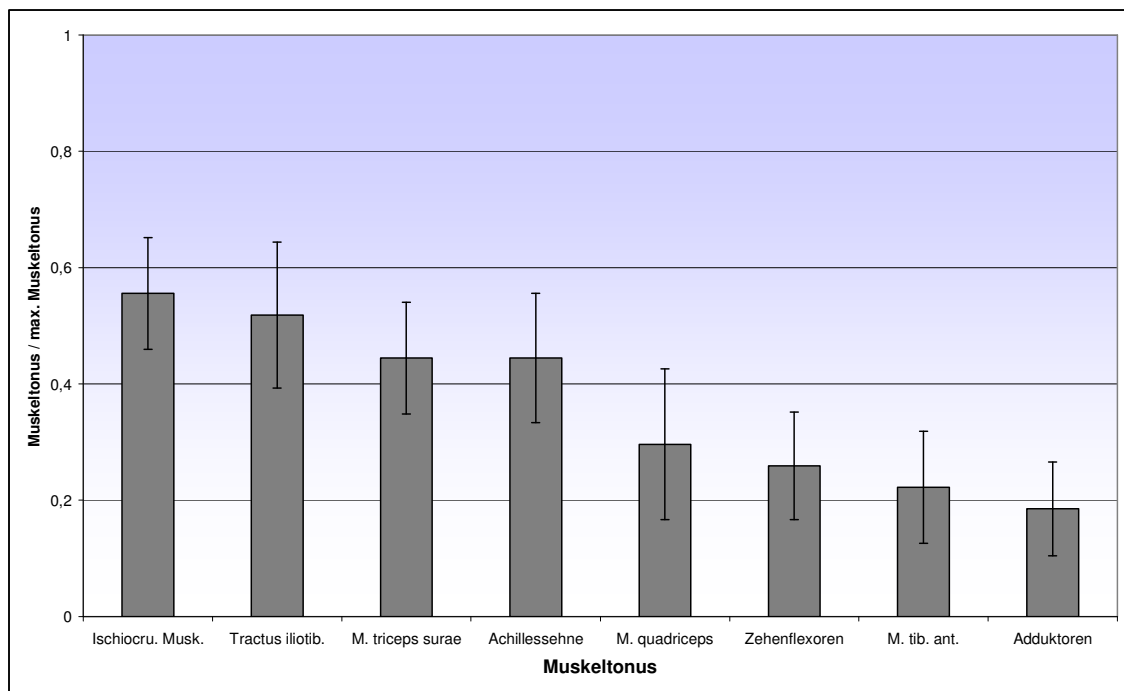


Abb. 17: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung des jeweiligen Tonus der Muskulatur bei Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=9

In den Abbildungen 16 und 17 wurde nach dem oben beschriebenen Prinzip der Muskeltonus der Patienten mit simultaner Ober- und Unterschenkelverlängerung evaluiert. Die jeweiligen Muskeln wurden je nach Spannungszustand mit 0, +, ++, oder +++ bewertet. Auch hier wurden die Werte, zur besseren Vergleichbarkeit, relativ zu dem maximal möglichen Muskeltonus (+++) genommen und die präoperativen Werte gleich Null gesetzt, so dass in den Abbildungen nur die Veränderungen während der Verlängerung sichtbar werden. Alle Veränderungen wurden auch hier zur besseren Übersichtlichkeit im Säulendiagramm positiv dargestellt.

Es zeigte sich, dass es im Verlauf der Distraktionsbehandlung bei den Patienten mit simultaner Ober- und Unterschenkelverlängerung zu einer Zunahme des Muskeltonus der ischiocruralen Muskulatur um durchschnittlich 60% und des Tractus iliotibialis um 50% kam. Auch im Unterschenkelbereich entwickelten viele Patienten eine Zunahme des Tonus des M. triceps surae, der Achillessehne und der Zehenflexoren. Im Behandlungsverlauf konnte sich jedoch bei fast 70% der Patienten der Hypertonus der Muskulatur vollständig zurückbilden.



### 5.1.3.2. Oberschenkelverlängerung

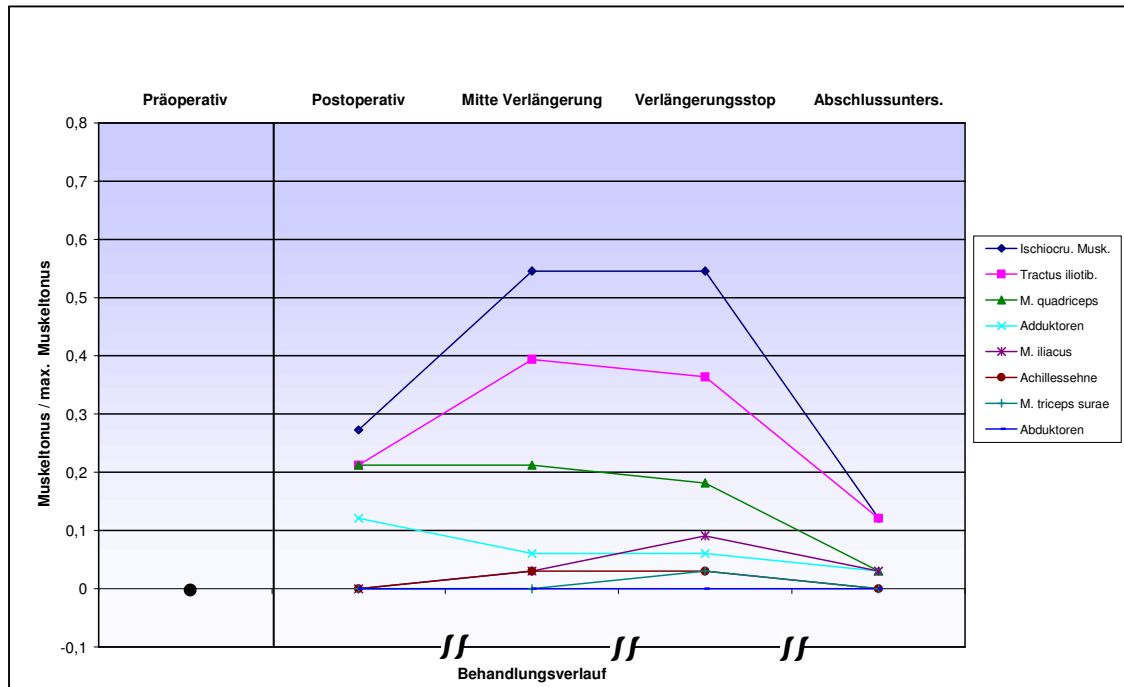


Abb. 18: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen des Muskeltonus im Verlauf der Oberschenkelverlängerung; n=11

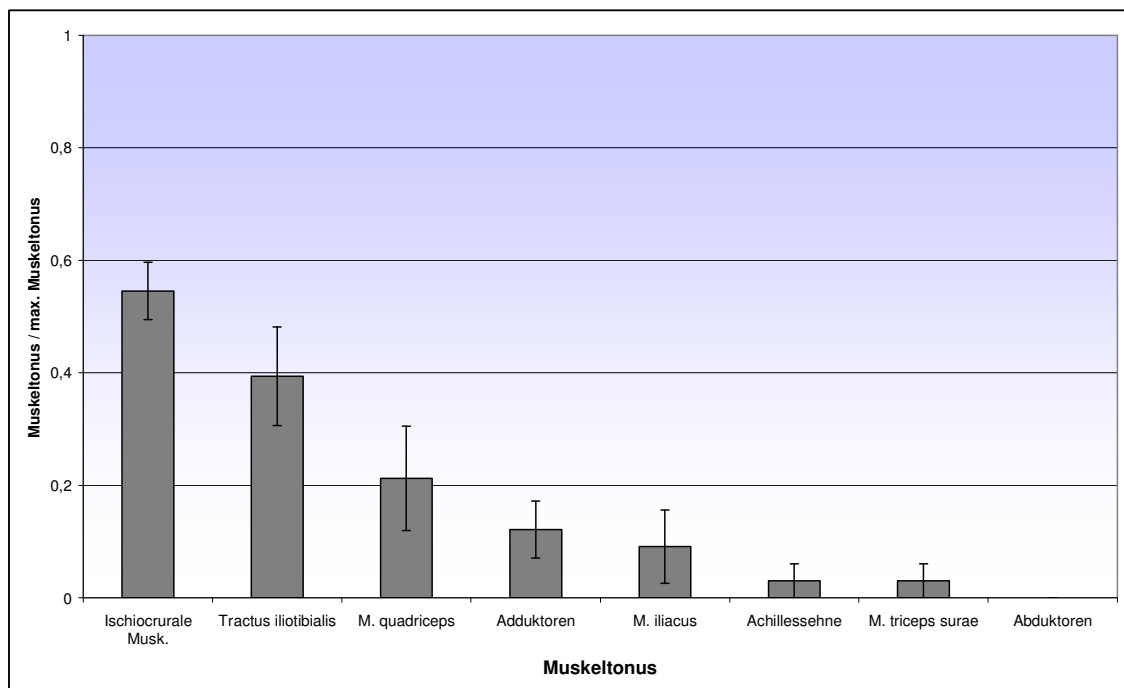


Abb. 19: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung des jeweiligen Tonus der Muskulatur bei Oberschenkelverlängerung; n=11

Abbildungen 18 und 19 wurden nach dem gleichen Prinzip wie Abbildungen 16 und 17 erstellt. Evaluiert wurden die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung.

Ischiocrurale Muskulatur (Tonuszunahme durchschnittlich um 70%) und Tractus iliotibialis (Tonuszunahme 57% im Schnitt) sowie der M. quadriceps femoris (47%) waren bei den meisten Patienten am stärksten von einer Tonuszunahme betroffen. Der Muskeltonus normalisierte sich auch hier im Laufe der Distraktionsbehandlung in über 70% der Fälle wieder.

### 5.1.3.3. Unterschenkelverlängerung

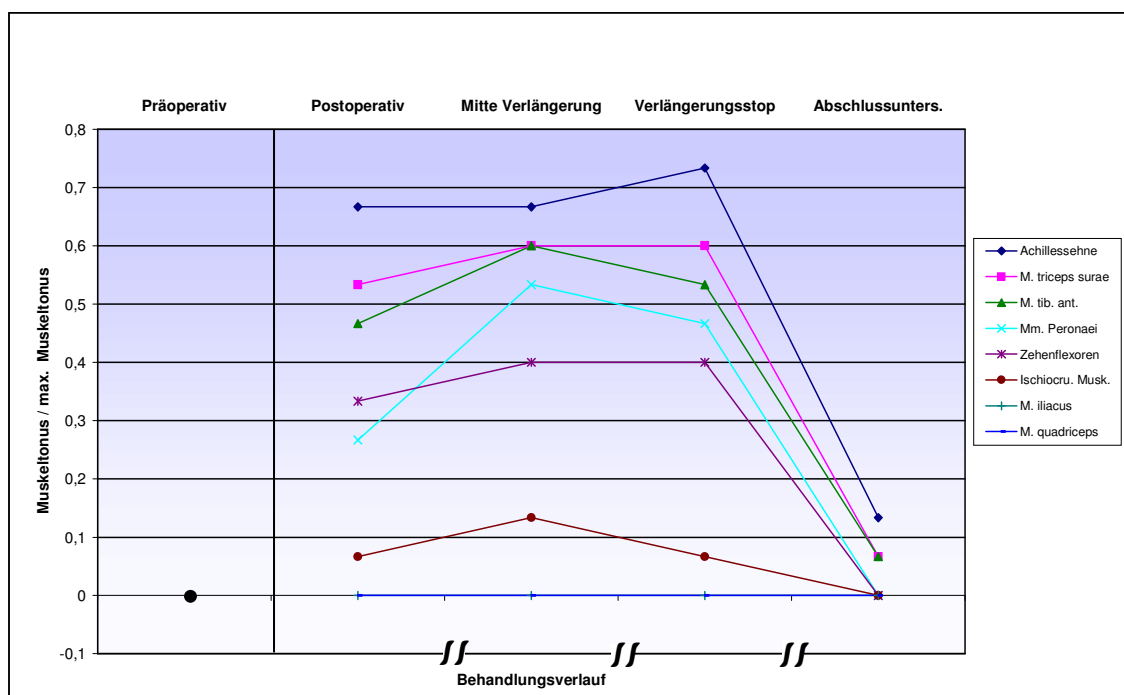


Abb. 20: Zeitliche Auftragung der durchschnittlichen Veränderungen des Muskeltonus im Verlauf der Unterschenkelverlängerung; n=5

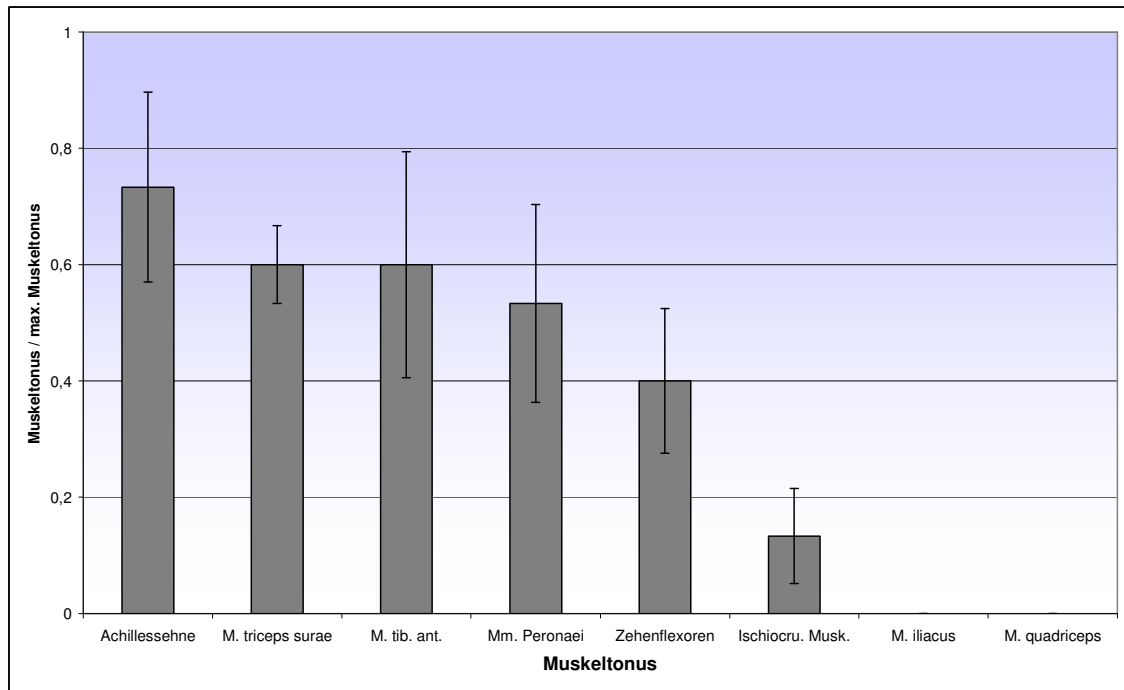


Abb. 21: Relative Auftragung mit Standardfehler der größten Veränderung des jeweiligen Tonus der Muskulatur bei Unterschenkelverlängerung; n=5

Auch die Abbildungen 20 und 21 wurden nach oben genanntem Prinzip erstellt. Hier wurden die Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung berücksichtigt.

Bei der Unterschenkeldestraktion kam es zu einer starken Tonuszunahme der gesamten Unterschenkelmuskulatur. Bei den meisten Patienten waren Achillessehne mit 87% Tonuszunahme und M. triceps surae mit 60% Zunahme am stärksten betroffen, wobei auch die ventrale und laterale Unterschenkelmuskulatur deutliche Veränderungen aufwies. Die Tonuszunahme war aber auch hier bei allen Patienten bis zur Abschlussuntersuchung rückläufig und bildete sich zu fast 80% vollständig zurück.

## 5.1.4. Auftreten einer Schwellung

### 5.1.4.1. Ober- und Unterschenkelverlängerung

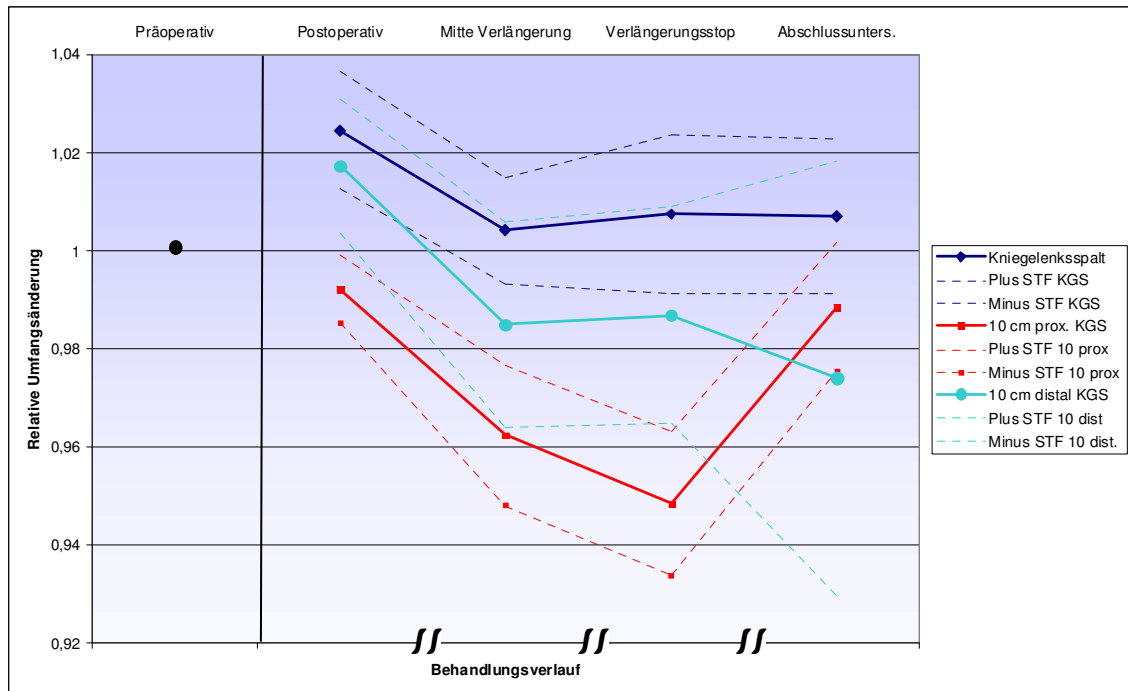


Abb. 22: Durchschnittliche zeitliche Verläufe der Schwellung an 3 definierten Messpunkten (Höhe Kniegelenksspalt, 10 cm proximal und 10 cm distal davon) bei kombinierter Ober und Unterschenkelverlängerung. Die gestrichelten Kurven zeigen die jeweiligen Standardfehler; n=9

Der Verlauf der Ödemneigung bei der Verlängerungsbehandlung wurde durch Messung der Umfänge an 3 definierten Stellen gemessen. Auch hier wurde zur besseren Vergleichbarkeit der präoperative Wert gleich Eins gesetzt und die Veränderungen relativ zum jeweiligen Beinumfang anteilig angegeben.

So verringerte sich der Oberschenkelumfang 10 cm proximal des Kniegelenkspaltes im Durchschnitt um über 0.02 (entspricht im Durchschnitt 1 cm) während der Verlängerung von Ober- und Unterschenkel. Der Ausgangswert konnte von einem Drittel der Patienten wieder erreicht werden. Bei einem Drittel lag der Wert über dem Ausgangswert, bei einem Drittel lag der Wert darunter. Auch 10 cm distal des Kniegelenkspaltes nahm der Umfang im Behandlungsverlauf bei sechs Patienten ab, wohingegen der Umfang auf Höhe des Kniegelenkspaltes bei allen untersuchten Patienten im Durchschnitt zunahm.

### 5.1.4.2. Oberschenkelverlängerung

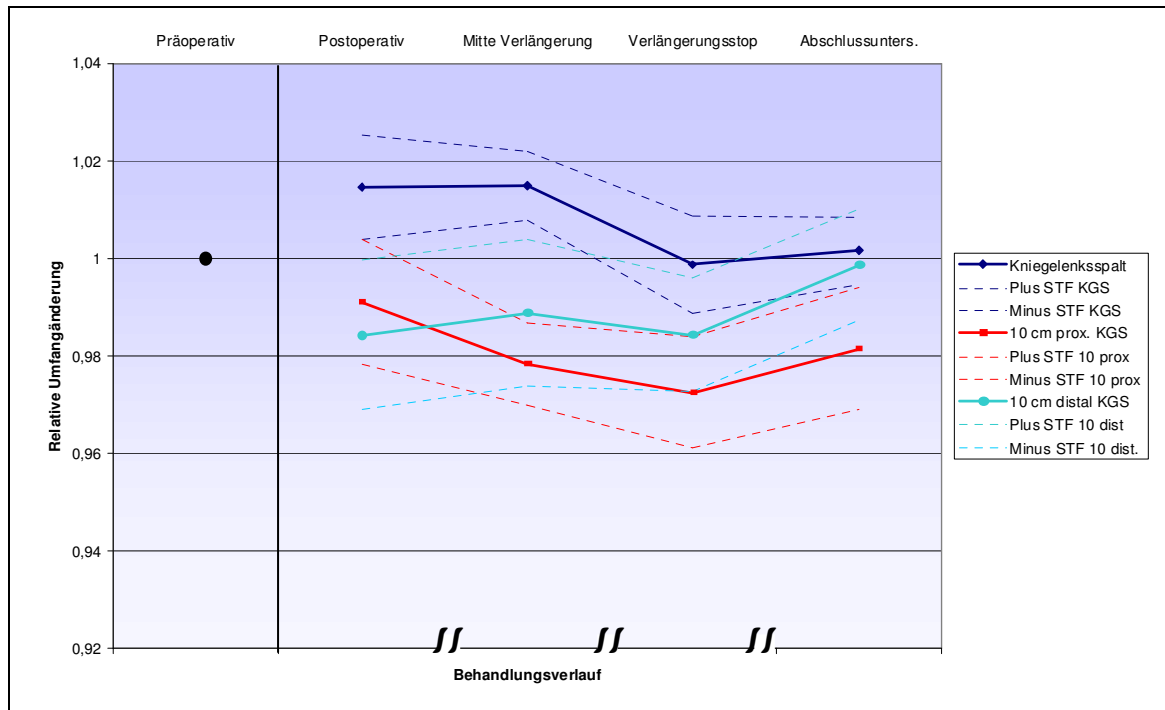


Abb. 23 Durchschnittliche zeitliche Verläufe der Schwellung an 3 definierten Messpunkten (Höhe Kniegelenksspalt, 10 cm proximal und 10 cm distal davon) bei Oberschenkelverlängerung. Die gestrichelten Linien zeigen die jeweiligen Standardfehler; n=11

Abbildung 23 wurde analog zur Abbildung 22 mit Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung erstellt.

Bei der Oberschenkel distraction sieht man, dass im Bereich der Ober- und Unterschenkelmuskulatur (10 cm proximal und distal des Kniegelenksspaltes) der Umfang im Durchschnitt abnehmend war, wohingegen die Schwellung auf der Höhe des Kniegelenksspaltes postoperativ zunächst anstieg und sich dann bis zu der Abschlussuntersuchung bei 82% der Patienten wieder normalisierte.

### 5.1.4.3. Unterschenkelverlängerung

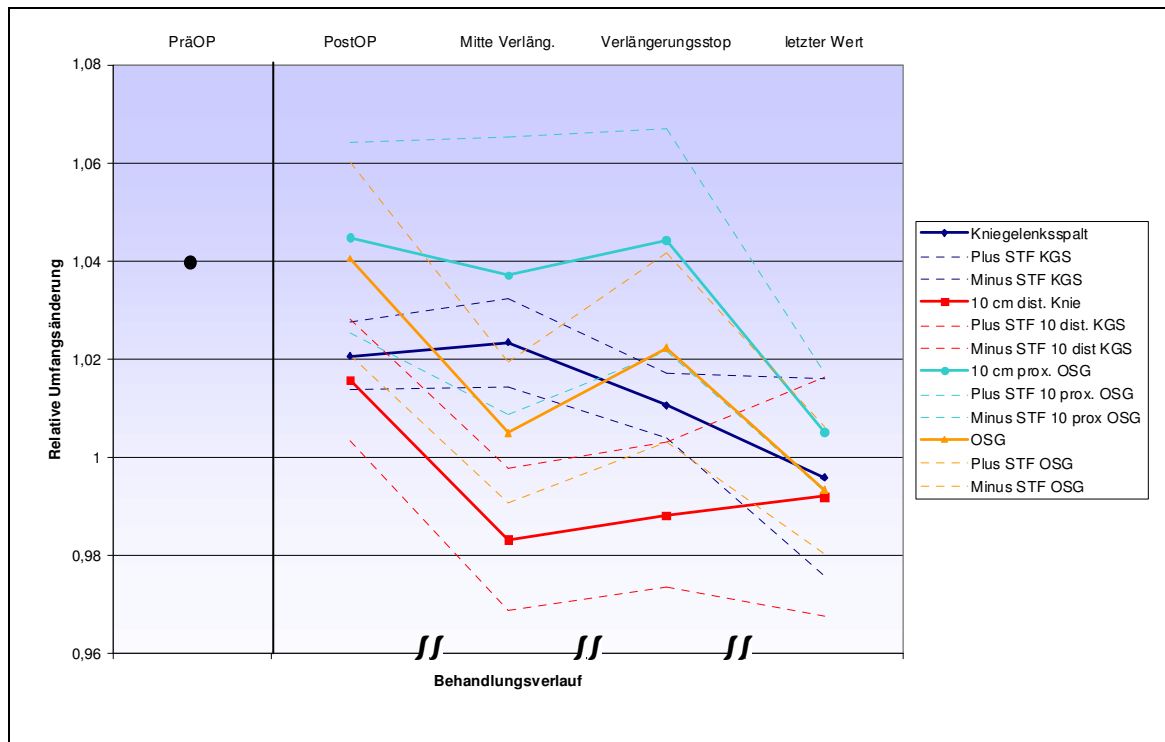


Abb. 24: Durchschnittlicher zeitlicher Verlauf der Schwellung an 4 definierten Messpunkten (Höhe Kniegelenksspalt und 10 cm distal davon, Höhe OSG und 10 cm proximal davon) bei Unterschenkeldistraktion. Die gestrichelten Kurven zeigen die jeweiligen Standardfehler; n=5

Abbildungen 24 wurde nach dem gleichen Prinzip wie Abbildung 23 angefertigt. Bei den Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung wurden 4 Messpunkte am Unterschenkel gewählt: der erste Messpunkt lag auf Höhe des Kniegelenkspaltes, der zweite 10 cm distal davon. Weiterhin wurde auf Höhe des oberen Sprunggelenkes gemessen und 10 cm proximal. Auch hier wurde die Umfangsänderung relativ angegeben, nachdem der präoperative Wert gleich Null gesetzt worden war.

Es zeigte sich, dass es bei der Unterschenkeldistraktion im Bereich des oberen Sprunggelenkes und 10 cm proximal davon zu einer deutlichen Schwellungsneigung kam. Auch im Bereich des Kniegelenkspaltes kam es im Behandlungsverlauf zu einer durchschnittlichen Umfangszunahme von 0,012 (=1,2%). Die Umfangszunahmen am oberen Sprunggelenk, 10 cm proximal und auf Höhe des Kniegelenkspaltes waren im Therapieverlauf rückläufig. Lediglich im Bereich 10 cm distal des Kniegelenkspaltes kam es zu einer durchschnittlichen Abnahme des Umfanges von 0,5%.

### 5.1.5. Auftreten von Schmerzen und Beschwerden

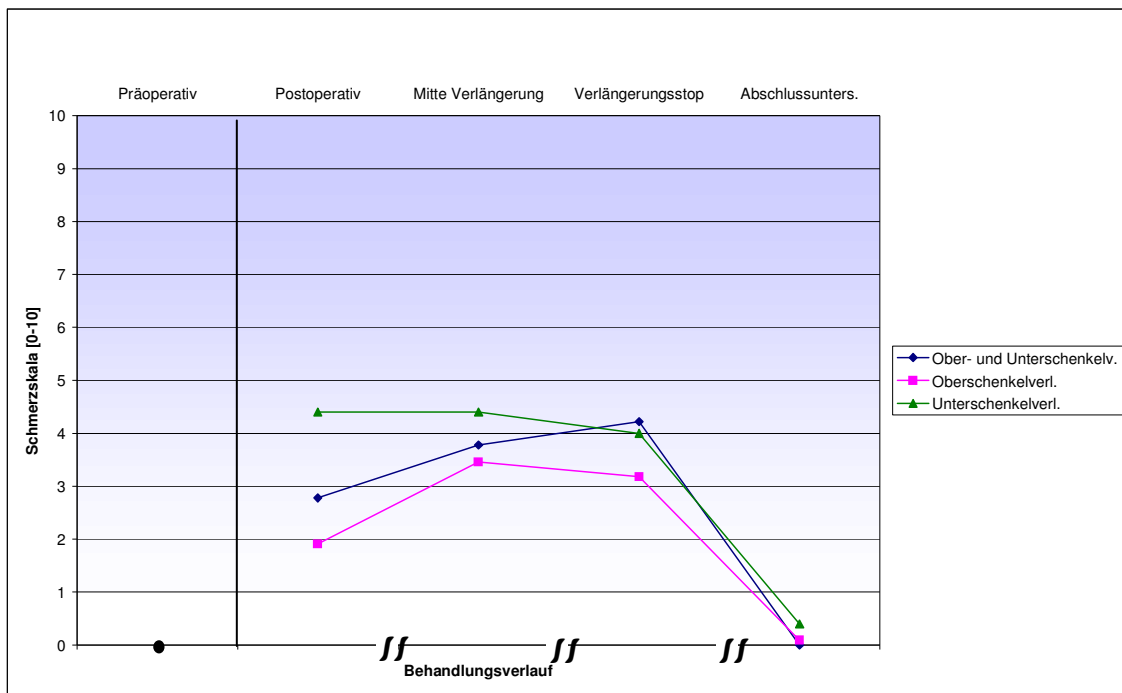


Abb. 25: Durchschnittlicher Verlauf der subjektiv empfundenen Schmerzen bei Verlängerungsbehandlung im Zeitverlauf; n=25

Abbildung 25 zeigt den Verlauf der Schmerzen bei der Verlängerungsbehandlung bei den jeweiligen Gruppen. Die Patienten sollten die von ihnen subjektiv empfundenen Schmerzen auf einer Skala von 0 bis 10 einstufen, wobei 0 „keine Schmerzen“ bedeutet und 10 die denkbar stärksten Schmerzen (Geisler 2003). Auch hier wurden die Mittelwerte aller Patienten der entsprechenden Gruppe zum gleichen Zeitpunkt bestimmt und im Zeitverlauf der Verlängerung aufgetragen.

Der Moment mit dem größten Schmerzempfinden wurde je nach betroffenem Knochen unterschiedlich angegeben. Während der postoperative Schmerz bei alleiniger Unterschenkelverlängerung bis zum Verlängerungsstopp weitgehend konstant blieb, war der Schmerzcharakter bei kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung zum Behandlungsende hin eher zunehmend. Aus einer alleinigen Oberschenkelverlängerung ergaben sich die geringsten Schmerzen. Bei allen drei Patientengruppen konnte nach Verlängerungsstopp eine deutliche Beschwerdeminderung verzeichnet werden und 88% der Patienten waren bis zur Abschlussuntersuchung schmerzfrei.

## 5.2. Vergleich der Beweglichkeitsveränderung mit äußeren Faktoren

### 5.2.1. Vergleich mit empfundenen Schmerzen

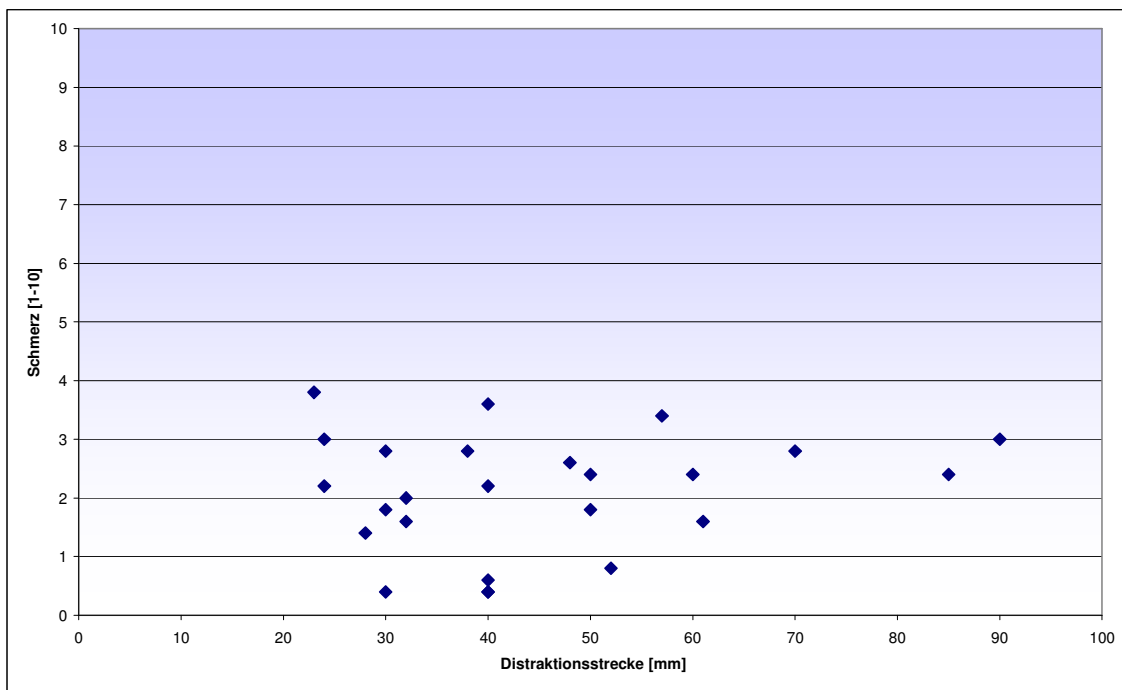


Abb. 26: Korrelationsanalyse von Distraktionsstrecke und Schmerzempfinden der Patienten während der Verlängerung; n=25

Um zu zeigen, welchen Einfluss die Verlängerungsstrecke auf das Schmerzempfinden des Patienten hat, wurde der Mittelwert der während der Verlängerung empfundenen Schmerzen auf einer Schmerzskala von 0 bis 10 (Geisler 2003) aufgetragen.

Anhand von Abbildung 26 kann man erkennen, dass zwischen der Distraktionsstrecke und den subjektiv vom Patienten empfundenen Schmerzen kein Zusammenhang ersichtlich wird. Der Schmerzcharakter der Patienten schwankte je nach individuellem Schmerzempfinden, unabhängig von der Strecke der Verlängerung.



## 5.2.2. Vergleich mit der Verlängerungsstrecke

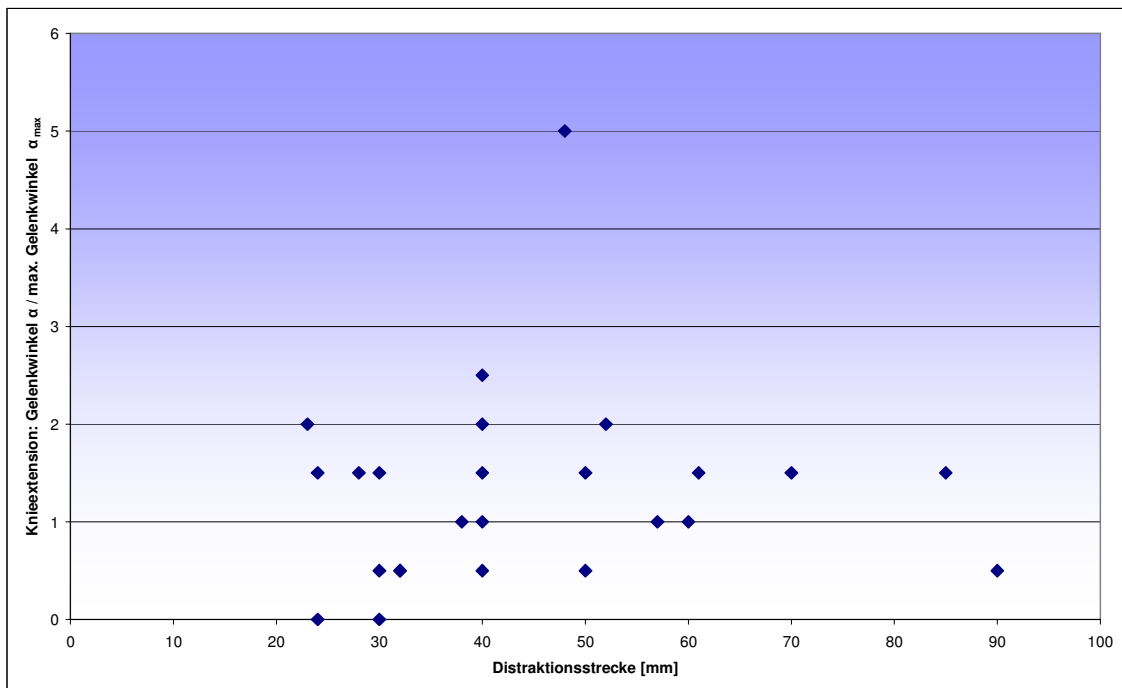


Abb. 27: Korrelationsanalyse von Distraktionsstrecke und Minderung der Extensionsfähigkeit im Kniegelenk der Patienten während der Verlängerung; n=25

Abbildung 27 vergleicht Verlängerungsstrecke und Minderung der Beweglichkeit. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde exemplarisch die Minderung der Knieextension genommen, da die Patienten aller drei Gruppen bei dieser Bewegung die größten Einschränkungen aufwiesen. Hier wurde geprüft, ob eine Korrelation zwischen diesen Faktoren besteht.

Die Knieextension der Patienten variierte interindividuell sehr stark und ein Zusammenhang mit der Verlängerungsstrecke konnte nicht abgeleitet werden.

### 5.2.3. Vergleich mit Alter und Geschlecht des Patienten

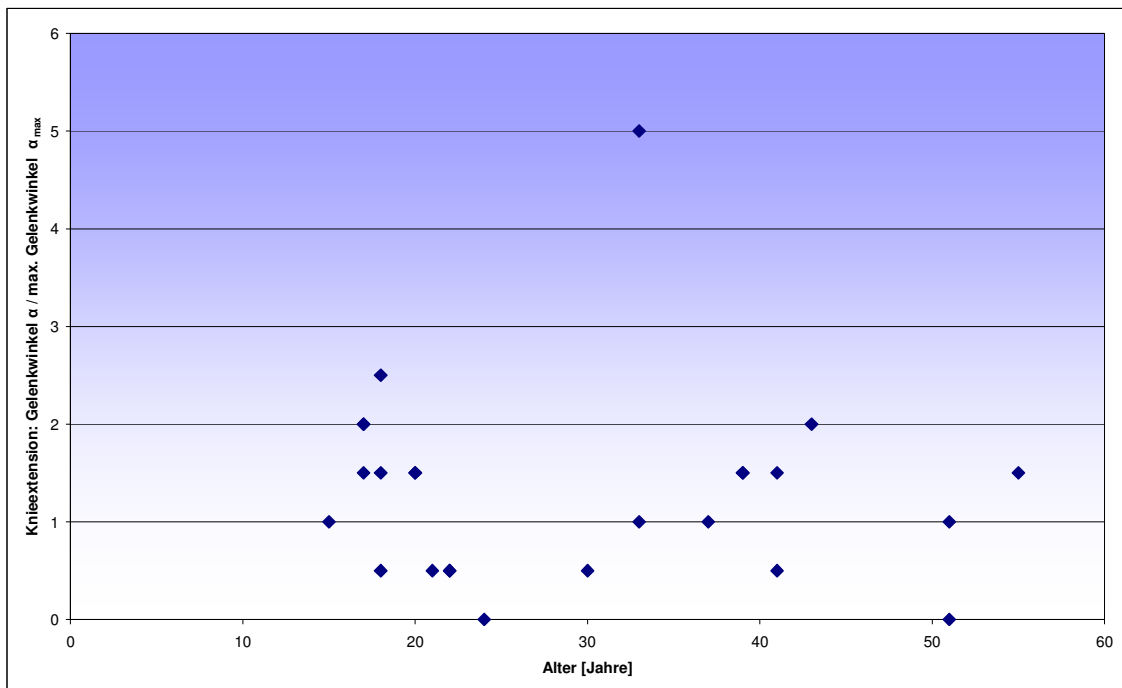


Abb. 28: Korrelationsanalyse von Alter und Minderung der Extensionsfähigkeit im Kniegelenk der Patienten während der Verlängerung; n=25

Die Korrelationsanalyse in Abbildung 28 sollte die Einschränkung der Knieextension mit dem Alter der Patienten vergleichen, um zu sehen, welchen Einfluss das Lebensalter auf die Verschlechterung der Beweglichkeit während der Verlängerungsbehandlung hat. Auch hier wurde exemplarisch die Verschlechterung der Knieextension verwendet.

Es zeigten sich sehr große interindividuelle Unterschiede, die keinen Zusammenhang mit dem Alter der Patienten erkennen ließen.

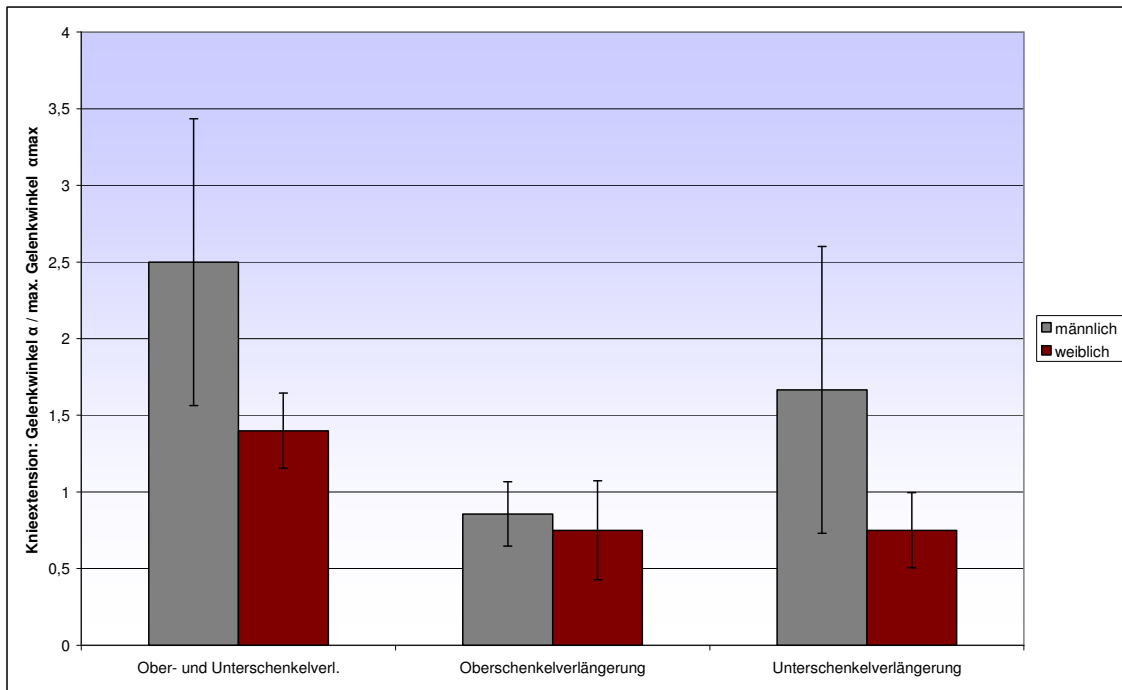


Abb. 29: Minderung der Extensionsfähigkeit im Kniegelenk mit Standardfehler, aufgeteilt nach Geschlecht des Patienten; n=25

In Abbildung 29 wird der Zusammenhang zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht des Patienten und Einschränkung der Beweglichkeit verdeutlicht, um zu sehen, welchen Einfluss dies auf den Verlängerungserfolg hat. In den jeweiligen Gruppen wurden die Mittelwerte der maximalen Verschlechterung der Knieextension gebildet und miteinander verglichen.

Hier sieht man, dass weibliche Patienten in allen 3 Gruppen zusammengefasst 42% weniger Einschränkungen in der Beweglichkeit zeigten als männliche Patienten. Besonders in den Gruppen der kombinierten Ober- und Unterschenkelverlängerung und bei alleiniger Unterschenkelverlängerung wurden die Unterschiede mit je 44% und 55% schlechteren Ergebnissen bei den Männern deutlich.

## 5.2.4. Vergleich mit der Ursache der Beinverkürzung

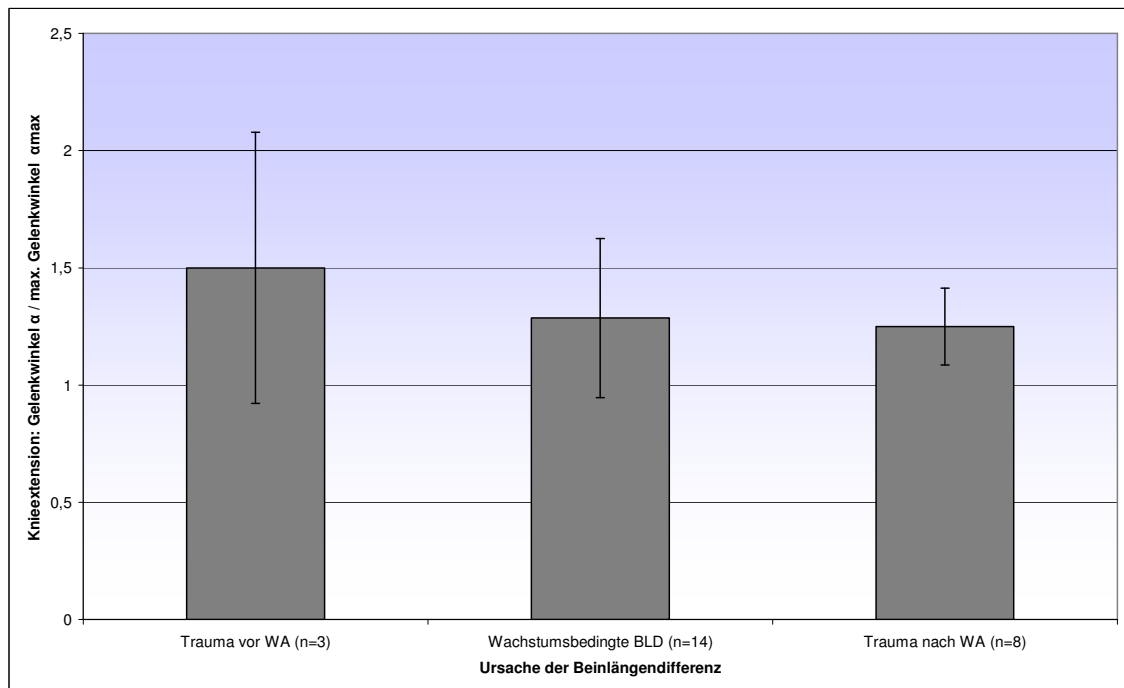


Abb. 30: Minderung der Extensionsfähigkeit im Kniegelenk mit Standardfehler, aufgeteilt nach Ursache der Beinverkürzung; n=25

Abbildung 30 zeigt, welchen Einfluss die Ursache der Beinlängendifferenz auf den Verlängerungsverlauf hat. Dazu wurden die Patienten in drei Gruppen aufgeteilt: jeweils eine Gruppe mit erworbener Beinlängendifferenz mit einem Trauma nach Wachstumsabschluss, einer Gruppe mit wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen, die nie ein Trauma hatten und eine Gruppe mit Patienten, denen ein Trauma während der Wachstumsphase widerfahren war. Der Patient mit der kosmetischen Verlängerung wurde der Gruppe „wachstumsbedingte Beinlängendifferenz“ zugeteilt, da er kein Trauma hatte und sein Bein nie lang war.

Es zeigte sich, dass bei Patienten mit wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen nur um 2 % größere Einschränkungen auftraten als dies bei Patienten mit einem Trauma nach Wachstumsabschluss der Fall war. Patienten mit einem Trauma vor Wachstumsabschluss erreichten dagegen um 20 % schlechtere Werte im Vergleich zu der Patientengruppe mit einem Trauma im Erwachsenenalter.

## 5.2.5. Vergleich mit präoperativer Beweglichkeit

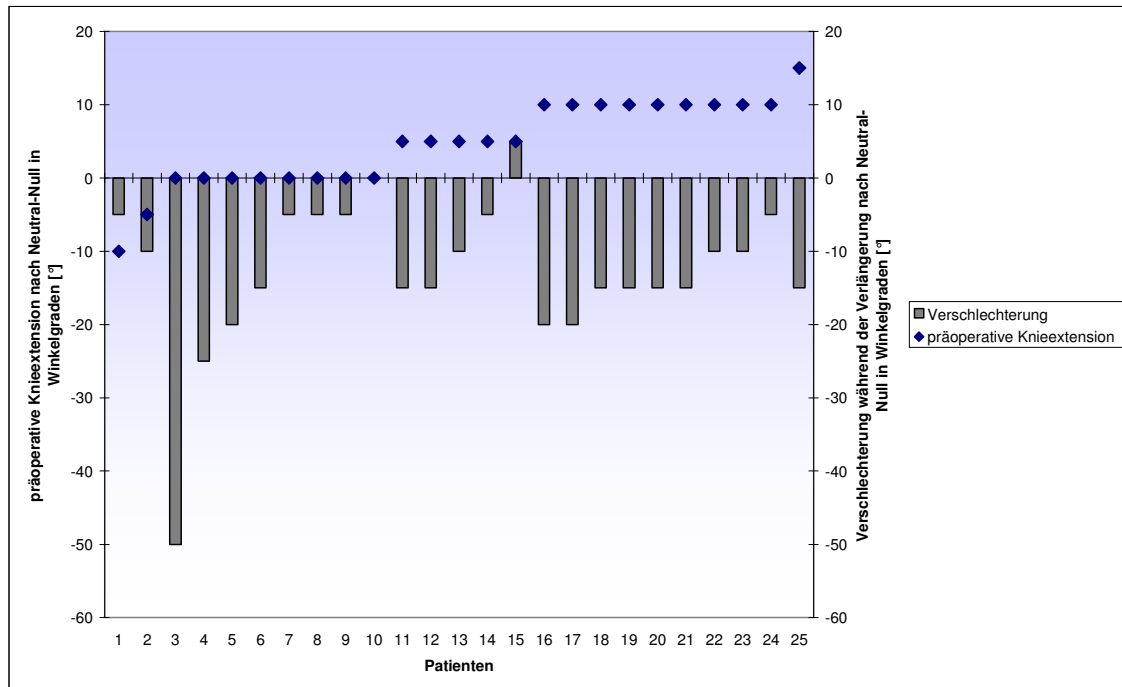


Abb. 31: Vergleich von präoperativer Knieextension mit der Verschlechterung während der Verlängerung, aufgetragen nach zunehmender präoperativer Knieextension; n=25

In Abbildung 31 wurden die Patienten nach zunehmender präoperativer Beweglichkeit sortiert und die maximale Verschlechterung aufgetragen. Als Beispiel wurde wieder die Knieextension genommen. Diesmal wurden die Werte nicht relativ genommen, sondern das Knieextensionsdefizit wurde in Winkelgraden nach der Neutral-Null-Methode dargestellt.

Dabei wurde die präoperative Knieextensionsfähigkeit von dem größten Extensionsverlust, der während der Verlängerung auftrat, abgezogen. Somit zeigen die Werte die individuelle Verschlechterung ausgehend vom präoperativen Wert.

In allen drei Patientengruppen wurden große interindividuelle Unterschiede deutlich. Es zeigte sich, dass eine gute präoperative Knieextension keine sichere Garantie für eine gute Extensionsfähigkeit während der Behandlung war. Trotzdem ist eine Tendenz sichtbar, bei der Patienten mit guten Ausgangswerten zu weniger Problemen im Verlängerungsverlauf neigen als Patienten, die schon präoperativ eine schlechte Beweglichkeit hatten.

Um diese Unterschiede mit Zahlen zu belegen wurden die Patienten in zwei Gruppen eingeteilt: eine Patientengruppe, deren schlechtester Extensionswert während der Verlängerung bei  $-10^\circ$  und darunter lag (10 Patienten) und eine Gruppe mit Patienten, die ein Extensionsdefizit von über  $-10^\circ$  nicht erreichten (15 Patienten). Anschließend wurde der Durchschnitt der schlechtesten Werte mit der präoperativen Knieextension verglichen. Bei den Patienten mit einer Knieextensionseinschränkung von mehr als  $-10^\circ$  während der Verlängerung lag die durchschnittliche präoperative Knieextension bei  $1,5^\circ$ . Die andere Patientengruppe lag mit einem Ausgangswert von  $6,7^\circ$  Extension im Knie im Schnitt deutlich darüber.

## 5.2.6. Vergleich von Muskeltonus und Muskeldehnfähigkeit

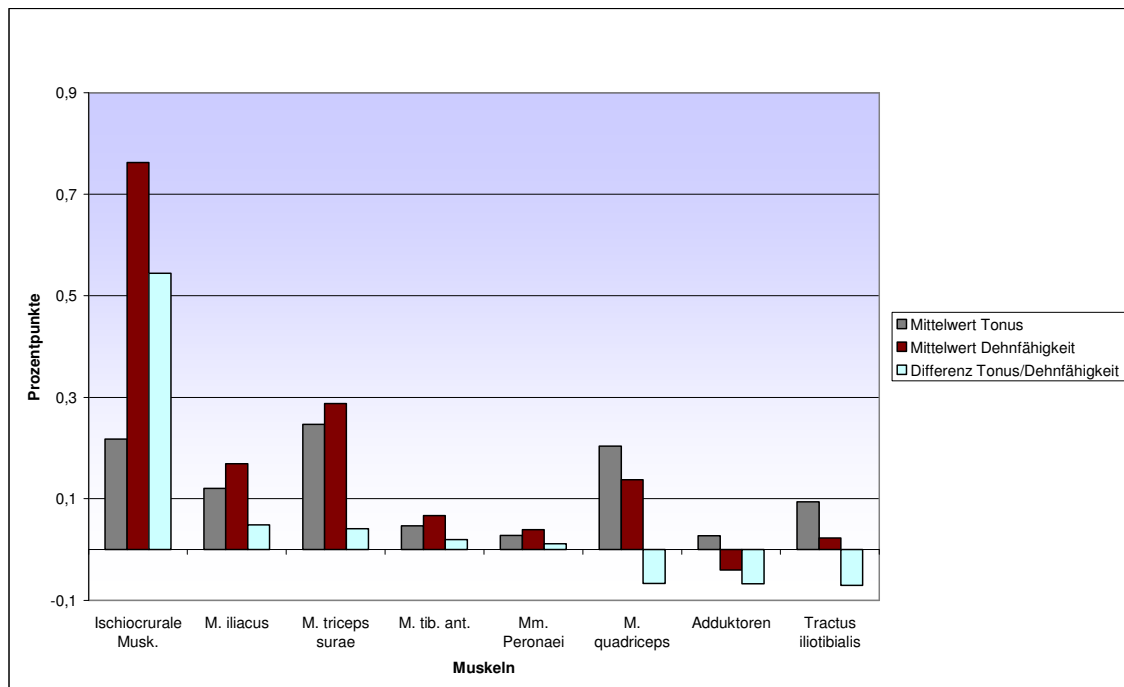


Abb. 32: Unterschied zwischen Veränderung des Muskeltonus und Veränderung der Muskeldehnfähigkeit während der Verlängerung aufgetragen nach abnehmender Differenz; n=25

In Abbildung 32 wurden die Veränderungen des Muskeltonus mit den Veränderungen der Dehnfähigkeit der entsprechenden Muskulatur verglichen. Dafür wurden Muskeltonus und Muskeldehnfähigkeit nach abnehmendem Unterschied aufgetragen. Auch hier wurden die Werte zur besseren Vergleichbarkeit untereinander relativ dargestellt. Dabei ergibt sich der Wert für die Muskeldehnfähigkeit aus dem Quotienten zwischen dem gemessenen schlechtesten Gelenkwinkeln  $\alpha$  während der Verlängerung und der maximal möglichen Gelenkbeweglichkeit  $\alpha_{\max}$  nach der Neutral-Null-Methode. Für den Muskeltonus wurde der

Quotient aus gemessenem Tonuswert geteilt durch die Zahl 3 berechnet (siehe Material und Methoden).

Die Differenz zwischen Muskeltonus und Dehnfähigkeit war bei der ischiocruralen Muskulatur mit einer um 0,54 (=54%) stärkeren Dehnungsminderung am größten.

Es wurde deutlich, dass die Minderung der Dehnfähigkeit der Muskulatur nicht alleine durch eine Tonuszunahme der entsprechenden Muskulatur erklärt werden kann, trotzdem aber Zusammenhänge deutlich werden. Der M. quadriceps femoris, der M. triceps surae, der M. iliacus und die Adduktoren verhielten sich ähnlich in Tonuszunahme und Minderung der Dehnfähigkeit. Tractus iliotibialis und M. tibialis anterior nahmen im Tonus deutlicher zu als im Verlust der Dehnfähigkeit. Hingegen ließ die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur sehr viel stärker nach als durch einen Anstieg des Muskeltonus zu erklären wäre.

## **5.3. Zusammenarbeit mit der Physiotherapie**

### **5.3.1. Resonanz auf Therapieverlaufsbögen**

Die Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung wurden zwischen sechs und zehn Mal, im Durchschnitt acht Mal untersucht, wobei die Patienten jeweils einen Therapieverlaufsbogen für die ambulant behandelnden Physiotherapeuten bekamen. Von diesen Bögen kamen zwischen zwei und acht, im Durchschnitt 5,1 pro Patient zurück.

Dagegen wurden die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung zwischen sechs- und dreizehn Mal untersucht, so dass im Durchschnitt acht Therapiebögen verteilt wurden. Davon wurden zwischen ein und sieben, im Durchschnitt 3,5 Bögen, ausgefüllt zurückgegeben

Die Zahl der Untersuchungen bei Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung lag zwischen sieben und neun. Auch hier wurden den Patienten im Durchschnitt acht Bögen für ihre Therapeuten mitgegeben. Von diesen Bögen kamen zwischen vier und sieben ausgefüllt zurück, im Durchschnitt 5,6 Bögen pro Patient.

## 5.3.2. Angewandte Therapieverfahren und Therapieziele durch niedergelassene Therapeuten

### 5.3.2.1. Ober- und Unterschenkelverlängerung

Die folgenden Abbildungen 33 bis 38 entsprechen der Bewertung der Therapieverlaufbögen durch niedergelassene Therapeuten. Hierbei sollten die Therapeuten ihre eigene Therapie bezüglich des Prozentsatzes des Vorkommens der verschiedenen Therapieformen bewerten und ihr vorrangiges Therapieziel benennen. Es wurde dargestellt, in wie viel Prozent der Therapien die jeweilige Behandlungsform Schwerpunkt bzw. das vorrangige Therapieziel war. Alle genannten Bewertungen geben die Meinungen der niedergelassenen Therapeuten wieder. Die entsprechenden Therapieformen werden im Kapitel 2.3. erläutert. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden nur die häufigsten Therapieformen und Therapieziele berücksichtigt.

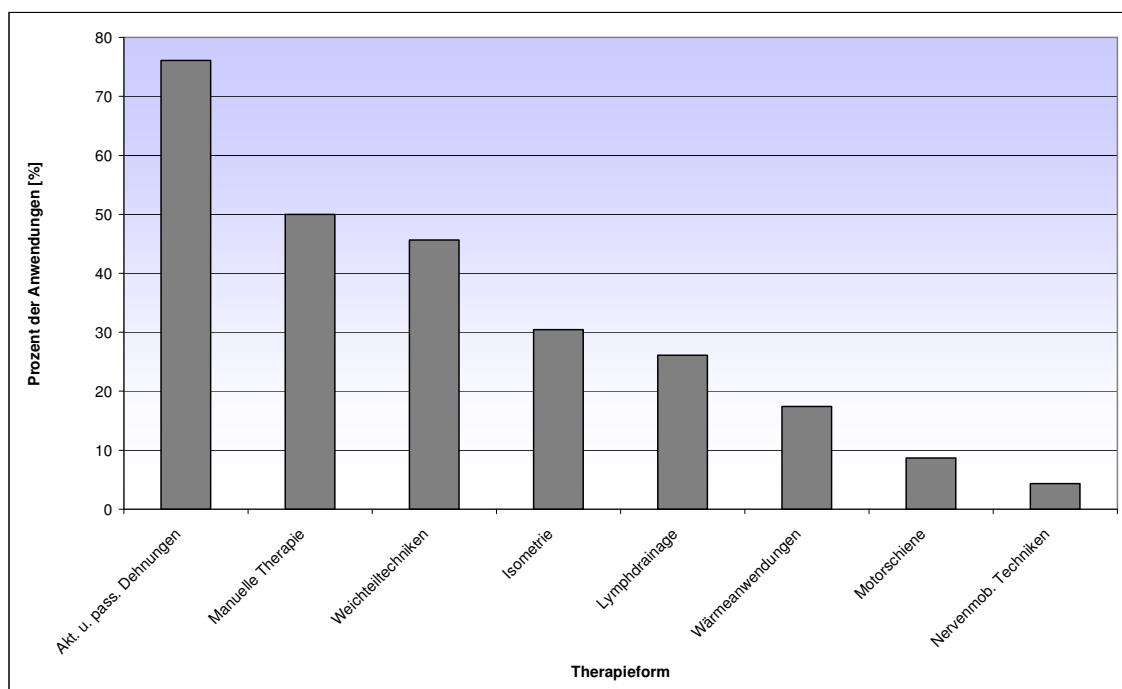


Abb. 33: Auflistung der verschiedenen Therapieformen bei gesetztem Behandlungsschwerpunkt durch niedergelassene Therapeuten bei der Behandlung von Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=45

Bei der Gruppe der Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung legten die meisten Therapeuten ihren Behandlungsschwerpunkt auf aktive und passive Dehnungen, gefolgt von Manueller Therapie und Weichteiltechniken.



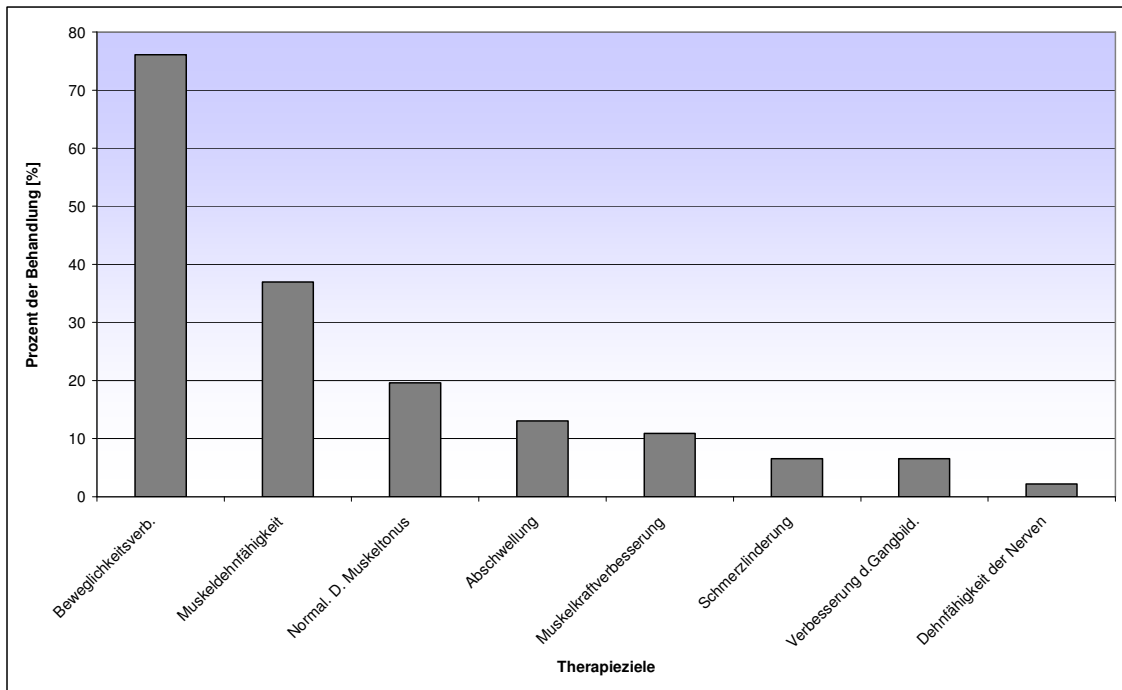


Abb. 34: Auflistung der Therapieziele nach Schwerpunktsetzung durch niedergelassene Physiotherapeuten in der Behandlung von Ober- und Unterschenkelverlängerung; n=45

Das vorrangige Therapieziel legten die Therapeuten auf die Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit und der Muskeldehnfähigkeit, gefolgt von der Normalisierung des Muskeltonus. Abschwellende Maßnahmen wie Lymphdrainage standen an 4. Stelle.

### 5.3.2.2. Oberschenkelverlängerung

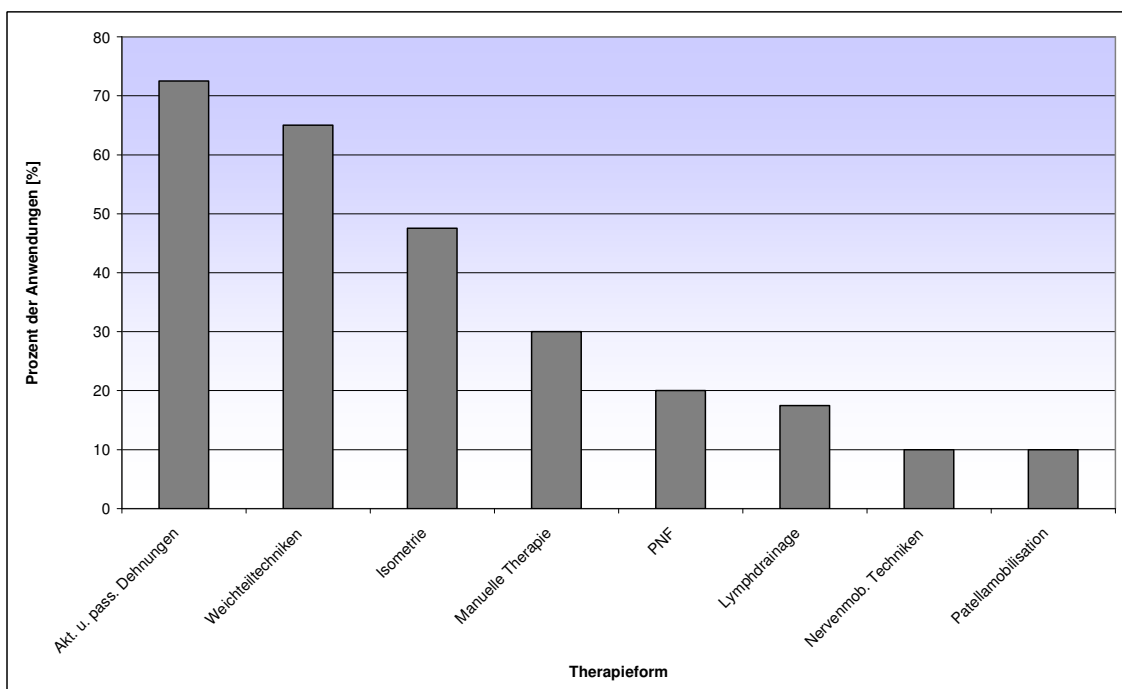


Abb. 35: Auflistung der verschiedenen Therapieformen bei gesetztem Behandlungsschwerpunkt durch die Therapeuten bei Behandlung von Oberschenkelverlängerung; n=39

Auch die Therapeuten, die Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung behandelten, legten den Schwerpunkt ihrer Behandlung auf das aktive und passive Dehnen der Muskulatur. Weichteiltechniken und Isometrie standen hier noch vor der Manuellen Therapie.

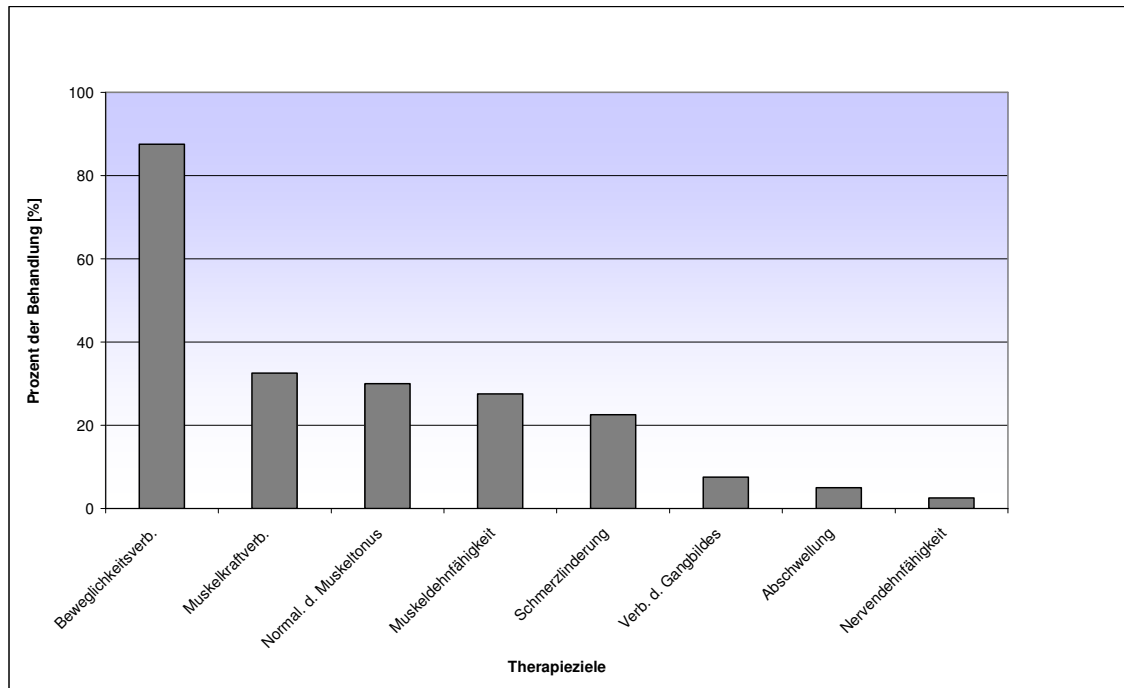


Abb. 36: Auflistung der Therapieziele nach Schwerpunktsetzung durch die Therapeuten in der Behandlung von Oberschenkelverlängerung; n=39

Die Ziele der Therapie von Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung wurden von den meisten Therapeuten auch hier in der Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit gesehen. Muskelkraftverbesserung, Normalisierung des Muskeltonus, Verbesserung der Muskeldehnfähigkeit und Schmerzlinderung folgten deutlich seltener auf etwa gleichem Niveau.

### 5.3.2.3. Unterschenkelverlängerung

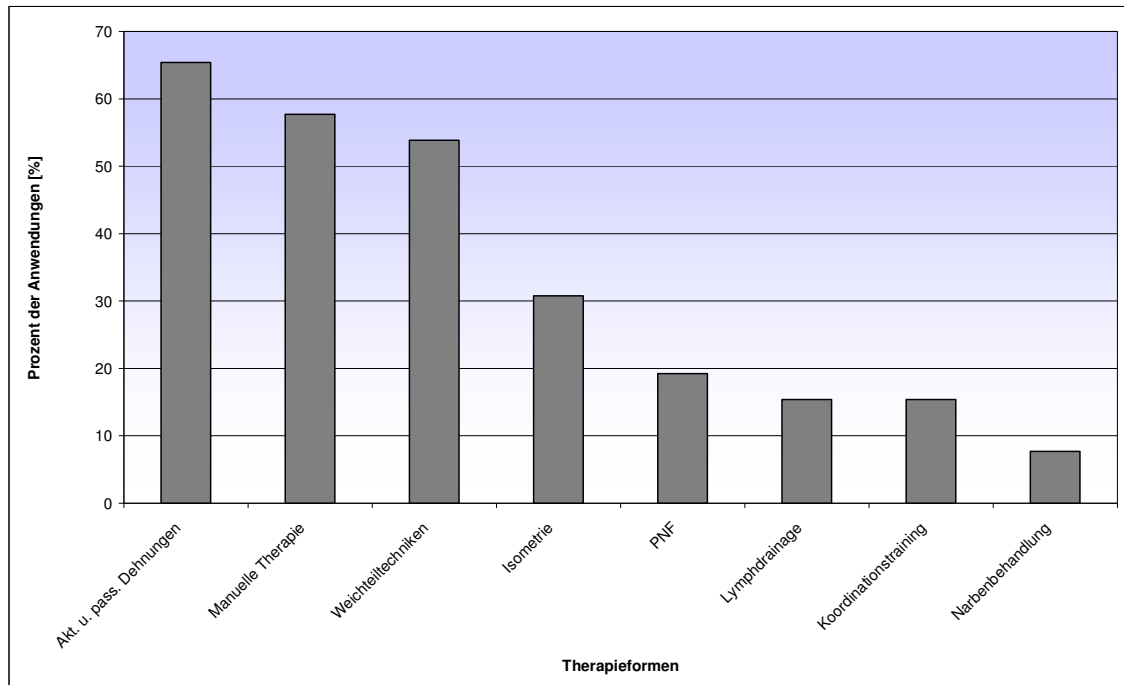


Abb. 37: Auflistung der verschiedenen Therapieformen bei gesetztem Behandlungsschwerpunkt durch die Therapeuten bei der Behandlung von Unterschenkelverlängerung; n=25

Die Therapeuten, die Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung behandelten, gaben als Schwerpunkt ihrer Behandlung wiederum das aktive und passive Dehnen von Muskulatur an. Als weitere große Schwerpunkte benannten sie die Manuelle Therapie und Weichteiltechniken.

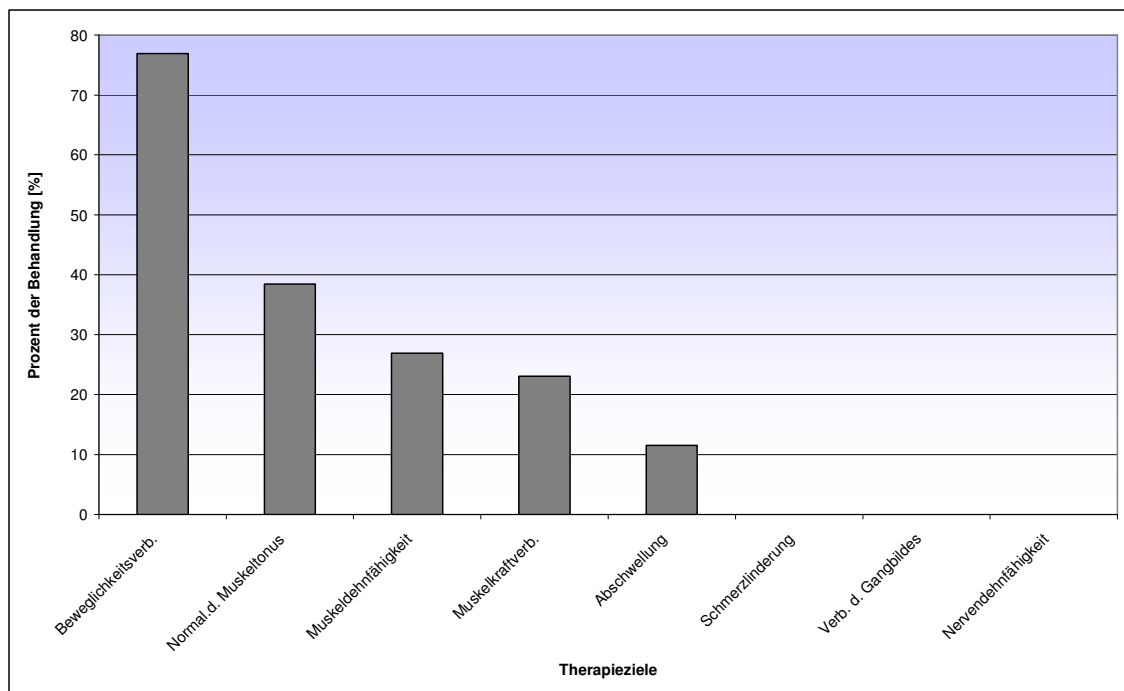


Abb. 38: Auflistung der Therapieziele nach Schwerpunktsetzung durch die Therapeuten in der Behandlung von Unterschenkelverlängerung; n=25

Als Hauptziel nannten die Therapeuten auch hier wieder die Verbesserung der Gelenkbe-  
weglichkeit. Weitere Ziele waren die Normalisierung des Muskeltonus, die Verbesserung der  
Muskeldehnfähigkeit und die Verbesserung der Muskelkraft.

## **6. Diskussion**

### **6.1. Veränderungen während der Verlängerungsbehandlung**

Die Unterschiede zwischen externem Fixateur und voll implantierbarem System wurde im Kapitel 1.3. bereits beschrieben. Durch die Studie konnten die enormen Vorteile, die ein intramedulläres System verspricht, bestätigt werden. Komplikationen wie verkürzte und hypertone Muskulatur konnten mit Weichteiltechniken und Querdehnungen erfolgreich behandelt werden. Alle Patienten bekamen manuelle Lymphdrainage, die sich gerade bei Patienten mit Unterschenkelverlängerung als extrem wichtig und wirkungsvoll erwies. Eine manuelle Lymphdrainage ist bei Patienten, die mit einem Fixateur extern behandelt werden, nicht möglich. Auch eine Kompressionsbehandlung durch einen Kompressionsstrumpf kann nur bei voll implantierbaren Systemen durchgeführt werden. Gelenktechniken wie Manuelle Therapie erfordern auch eine gewisse Erreichbarkeit des Gelenkes, was bei einem Fixateur extern nicht gegeben ist. Da die Haut vollständig geschlossen ist, werden Therapien im Bewegungsbad oder auch Fangopackungen auf hypertone Muskulatur, sowie Eisbehandlungen der Gelenke möglich. Auch ein Wechseln von Verbänden, was für die Patienten teilweise schmerzhaft ist, entfällt.

Paley et al. (1990) beschrieben die Komplikationen bei der Beinverlängerung mit dem Ilizarov-Fixateur. Sie zeigten, dass die Hauptkomplikationen während der Verlängerung Muskelkontrakturen, Gelenkluxationen, axiale Abweichungen, Nervenverletzungen, Gefäßverletzungen, vorzeitige Konsolidierung, verspätete Konsolidierung, Verbindungsschwierigkeiten der Knochenteile und Probleme mit den Pins waren. Späte Komplikationen waren Kraftverlust, nachträgliches Verbiegen des Knochens und Refraktur. Auch die Gelenksteife kann ein bleibendes Problem sein. Schmerzen und Schlafschwierigkeiten sind weitere Komplikationen der Beinverlängerung, besonders bei sehr langwierigen Fällen.

### 6.1.1. Veränderung der Gelenkbeweglichkeit

Bei allen drei Patientengruppen wurde deutlich, dass die größten Veränderungen erwartungsgemäß im Bereich der Kniebeweglichkeit lagen. Die Patienten mit Unterschenkelverlängerung hatten zusätzlich Bewegungseinschränkungen im Bereich des oberen Sprunggelenkes. Anhand der Ergebnisse kann man erkennen, dass sich die Veränderung der Gelenkbeweglichkeit trotz der heterogenen Patientengruppe in ähnlicher Weise veränderte. Eine Ausnahme bildet die Knieextension und Hüftextension bei der Gruppe der kombinierten Ober- und Unterschenkelverlängerung. Dies ist sicher darin zu begründen, dass in dieser Gruppe der Patient, der aufgrund von sehr schlechten Extensionswerten operativ revidiert werden musste, mitgeführt wurde.

Die Extension im Kniegelenk ist für die Statik des betroffenen Beines besonders wichtig (Peterson 2001). Extensionsdefizite, die einen Winkel von  $-10^\circ$  nicht erreichten, wurden intensiv mit Krankengymnastik behandelt. Wenn das Extensionsdefizit diese Grenze überschritt, wurde dem Patienten zusätzlich eine Quengelschiene verordnet, die das Kniegelenk in Extension drückte. Eine trotz dieser intensiven Maßnahmen fortschreitende Kontraktur wurde als Abbruchkriterium gesehen. In dieser Studie war das allerdings nur bei einem Patienten notwendig. Nach einer Revisionsoperation erreichte auch dieser Patient die Nullstellung und sein Bein konnte weiter verlängert werden.

Da auf Grund der Erfahrungen in unserer Studie zu erwarten ist, dass es im Verlängerungsverlauf in allen drei Patientengruppen zu einer Minderung der Kniebeweglichkeit kommt, sollte man die Patienten schon prophylaktisch mit bewegungserweiternder Physiotherapie behandeln, um das Problem so gering wie möglich zu halten.

Die Einschränkung der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk mit der Entwicklung einer Spitzfußstellung ist eine wichtige Komplikation der Unterschenkelverlängerung. Es zeigte sich auch hier ein sehr gutes Ansprechen auf die Physiotherapie, was sicherlich auch auf die gute Erreichbarkeit des Gelenkes durch Fehlen externer Fixateurteile zu erklären ist. Auch hier gilt die Empfehlung, schon vor dem Auftreten von Einschränkungen die Dorsalextension physiotherapeutisch schwerpunktmäßig zu beüben.

Eine wichtige Rolle spielt auch die Lagerung der betroffenen Extremität. Diese sollte, bei Neutralstellung im Hüftgelenk, die volle Knieextension und  $0^\circ$  Dorsalextension anstreben.

Erfreulicherweise zeigte sich, dass sich die Bewegungseinschränkung im Laufe der Nachbehandlungszeit deutlich verbesserte und viele Patienten zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung wieder ihre präoperative Beweglichkeit erreicht hatten. Hankenmeier et al. (2005)

beschrieben, dass bei Patienten, die mit einem Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD) verlängert wurden, im Durchschnitt nach 2,3 Jahren die volle Beweglichkeit wieder erreicht war.

Auch Herzenberg et al. (1994) beschrieben in ihrer Studie von 1994, dass es bei Oberschenkelverlängerung mit einem Ilizarov-Fixateur zu einer Minderung der Kniegelenksbeweglichkeit kam, wobei in der Studie nur über die Gesamtbeweglichkeit des Knies gesprochen und nicht zwischen Extension und Flexion unterschieden wird. Patienten mit Oberschenkelverlängerung neigten zu einer Extensionskontraktur im Kniegelenk, was Herzenberg mit verminderter Quadricepsdehnfähigkeit begründet. Die bei Unterschenkelverlängerung auftretende Beugekontraktur im Kniegelenk erklärt er mit einem übermäßigen Zug des M. gastrocnemius. Die Studie zeigte, dass es postoperativ zu einer starken Verschlechterung der Kniegelenksbeweglichkeit kam, die sich nach Entfernung des Fixateurs deutlich besserte und bei 23 von 25 Patienten bis hin zur Abschlussuntersuchung weniger als 15° Defizit betrug.

Aus Herzenbergs Studie wird auch ersichtlich, wie wichtig die frühfunktionelle Physiotherapie ist. Die schnelle Erholung der Beweglichkeit im Kniegelenk nach Fixateurentfernung ist sicher unter anderem durch eine bessere Zugänglichkeit der Physiotherapie zu erklären.

### **6.1.2. Veränderung der Muskeldehnfähigkeit**

Die Dehnfähigkeit im Bereich der dorsalen Muskelkette war bei allen drei Patientengruppen im Studienverlauf eingeschränkt. Die ischiocrurale Muskulatur war dabei am stärksten betroffen, was sich auch in der Verminderung des Finger-Boden-Abstandes zeigte. Auch bei der Wadenmuskulatur, besonders bei Patienten, die am Unterschenkel verlängert wurden, zeigten sich deutliche Veränderungen. Anhand der Standardfehler kann man sehen, dass auch die Streuung im Bereich der ischiocruralen Muskulatur und beim Finger-Boden-Abstand am größten war. Besonders ausgeprägt war die Streuung bei Patienten mit ausschließlich Unterschenkelverlängerung im Bereich der dorsalen Oberschenkelmuskulatur. Dies könnte man damit begründen, dass viele Therapeuten ihren Therapieschwerpunkt vermehrt auf die Unterschenkelmuskulatur legten und nur wenige Therapeuten auch die Oberschenkelmuskulatur mitbehandelten. Vielleicht fiel auch nur der Standardfehler aufgrund der kleinen Fallzahl (5 Patienten) höher aus, da die Anzahl der Patienten in die Berechnung des Standardfehlers mit eingeht.

Die Verkürzung der dorsalen Muskelkette kann sicher teilweise die Einschränkung der Knieextension und die Spitzfußneigung bei Unterschenkelverlängerung erklären. Ob die Muskelverkürzung eine Folge des Dehnungsstresses bei Verlängerung, der verminderten

Beanspruchung der Extremität oder eine Folge der Gelenkeinschränkung ist, konnte durch die Studie nicht geklärt werden.

Es zeigte sich aber, dass sich ein Großteil der Verkürzungen im Laufe der Verlängerungsbehandlung besserte und sich in vielen Fällen bis zur Abschlussuntersuchung zurückbildete. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Dehntechniken der Physiotherapie einen großen Einfluss haben.

Muhl (1982) konnte in seiner Studie mit weißen Neuseeländerkaninchen nachweisen, dass es durch die Extension des Muskelbaues von einem Millimeter zu einer Dehnung der Muskelfaser um 0,77 mm kommt.

Williams et al. (1998) untersuchten die Veränderungen von Muskelgewebe auf Dehnungsreiz bei Hasen. Wenn der M. tibialis anterior eines Hasen während der chirurgischen Beinverlängerung einer ansteigenden Dehnung ausgesetzt wird, verlängern sich die Muskelfasern durch Produktion neuer Sarkomere, vorausgesetzt die Dehnung wird mit einer angemessenen Geschwindigkeit durchgeführt. Durch die scheinbare Anpassung an die neue funktionelle Länge kann sich das Bewegungsausmaß des Gelenkes verbessern.

Aufgrund dieser Erkenntnisse sollte man dem Patienten empfehlen, schon präoperativ eine intensive Eigendehnung der im Ergebnisteil genannten Muskulatur zu machen. Aktive und passive Dehnungen durch den behandelnden Physiotherapeuten sowie Muskeleigendehnungen als Hausaufgabenprogramm sollten fester Bestandteil einer jeden Verlängerungsbehandlung sein.

Wiemann et al. (1997) untersuchten in der Studie von 1997 den Einfluss von Kraft, Stretching und durchblutungsfördernder Bewegung auf die Dehnbarkeit der menschlichen ischiocruralen Muskulatur. Dabei zeigte sich, dass es in der Gruppe mit statischem und dynamischem Dehnen sowie in der Gruppe mit stationärem Fahrradfahren zu einer Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit kam. Dagegen änderte sich die Beweglichkeit in der Gruppe mit statischem Muskeltraining und in der Kontrollgruppe nicht. Die Zunahme der Gelenkbeweglichkeit nach stationärem Fahrradfahren erklärt der Autor durch eine Abnahme der Muskelruhedehnungsspannung.



### **6.1.3. Veränderung des Muskeltonus**

Wie zu erwarten war, stieg auch der Muskeltonus während der Verlängerungsbehandlung deutlich an. Bei der kombinierten Ober- und Unterschenkelverlängerung kam es insbesondere zu einem Tonusanstieg der dorsalen Ober- und Unterschenkelmuskulatur. Auch der Tractus iliotibialis, der über geringe Dehnfähigkeit verfügt, reagierte mit starker Tonuszunahme.

Erwartungsgemäß zeigte sich, dass es in der Gruppe der Oberschenkelverlängerung zu einem deutlichen Anstieg des Muskeltonus der Oberschenkelmuskulatur kam, wohingegen bei Unterschenkelpatienten hauptsächlich die Unterschenkelmuskulatur betroffen war.

Dass die Standardfehler in der Gruppe der unterschenkelverlängerten Patienten am größten waren, lässt sich auch hier mit der geringen Fallzahl von 5 Patienten erklären, da sie Teil der Berechnung des Standardfehlers ist.

Auch hier wurde deutlich, dass sich der Muskeltonus bei den meisten Patienten bis hin zur Abschlussuntersuchung normalisierte. Alle Patienten wurden während der Verlängerung von ihren Physiotherapeuten muskeldetonisierend mit Weichteiltechniken behandelt, was sicherlich einen großen Einfluss auf das gute Ergebnis hatte.

Wie Fischgrund et al. (1994) zeigten, kommt es bei Bettruhe (durch den Bewegungsmangel) zu einer Abnahme der Steifheit der Sehnenstrukturen, was zu einer Minderung der Muskelkraft und auch des Muskelvolumens führt. Dies führt zu einer elektromechanischen Verlangsamung und zur Verminderung der Kontraktionsgeschwindigkeit. Aktivierende Physiotherapie spielt deshalb eine entscheidende Rolle, um dieser Inaktivitätsatrophie der Muskulatur entgegenzuwirken.

### **6.1.4. Auftreten einer Schwellung**

Besonders im Bereich der Kniegelenke trat bei allen drei Patientengruppen erwartungsgemäß eine Ödemneigung mit Umfangzunahme auf. Bei der Implantatplatzierung des Oberschenkel-TAAs und Unterschenkel-TAAs muss das Kniegelenk eröffnet werden, was eine postoperative Schwellungsneigung erklärt. Die Umfangzunahme, die nach Implantation eines SAA auftritt, wird durch die Lage der Schrauben hervorgerufen. Auch der Kompressionsdruck durch die zunehmende Verlängerung wirkt auf das Kniegelenk schwellungsfördernd. Ebenfalls war es zu

erwarten, dass der Beinumfang 10 cm proximal und 10 cm distal des Kniegelenkes aufgrund abnehmender Muskelmasse sank.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den beiden Patientengruppen, bei denen der Unterschenkel verlängert wurde, der Beinumfang 10 cm distal des Kniegelenkspaltes am größten war. Da in diesem Bereich der Beinumfang hauptsächlich durch die Wadenmuskulatur bestimmt ist, kann man davon ausgehen, dass die Patienten insbesondere nach Verlängerungsstopp, sehr unterschiedlich trainierten.

Bei den Patienten mit Unterschenkelverlängerung zeigte sich eine deutliche Umfangzunahme nicht nur im Bereich des Kniegelenkspaltes und des oberen Sprunggelenks, sondern auch 10 cm proximal davon. Eine Schwellungsneigung zeigte sich im Bereich des Unterschenkels deutlicher als im Oberschenkelbereich.

Durch Stoffwechselumbauprozesse bei der Beinverlängerung sind solche Zunahmen des Beinumfangs kaum vermeidbar. Sie sollten rechtzeitig mit manueller Lymphdrainage und Kompression behandelt werden, da ein Ödem sich negativ auf die Beweglichkeit des jeweiligen Gelenks auswirkt. Auch der Patient kann durch konsequente Hochlagerung, aktive Bewegung der Zehen und statische Anspannung (Einsatz der Muskelpumpe) dazu beitragen (Schäffler 1996).

Gerade das Kompartmentsyndrom ist eine häufige Komplikation bei Unterschenkelverlängerungen. Young et al. (1993) fanden, dass der mittlere Kompartimentdruck nach einer Tibiaosteotomie und in den ersten 18 postoperativen Stunden auf 20 bis 30 mmHg ansteigt. Um die Gefahr eines Kompartmentsyndroms so gering wie möglich zu halten, wird in München standardmäßig eine prophylaktische Faszien-spaltung des Extensorenkompartments durchgeführt.

Bei Auftreten eines Lymphödems zeigten sich besonders deutlich die Vorteile des voll implantierbaren Systems. Manuelle Lymphdrainage und Kompressionsbehandlung mit einem Kompressionsstrumpf sind bei einem Fixateur extern nicht möglich.

### **6.1.5. Auftreten von Schmerzen und Beschwerden**

Auch bei dieser Untersuchung wurden wieder die Vorteile der Beinverlängerung mit einem Fitbone®-Nagel deutlich. Während es bei einem Fixateur extern häufig zu Infektionen und Schmerzen an den Pinaustrittsstellen kommt (Paley 1990), spielen diese Schmerzen bei einem intramedullären System keine Rolle, da die Haut vollständig verschlossen ist. Daher sind

teilweise schmerzhafte Verbandswechsel nicht nötig. Schmerzhafte Muskelverspannungen können effektiv mit detonisierenden Weichteiltechniken behandelt werden und auch Wärme oder Kälteanwendungen sind möglich.

In den Ergebnissen der Studie von Hankemeier et al. (2004) wurde gezeigt, dass sich der Komfort der Beinverlängerung mit dem ISKD®-Nagel gegenüber dem externen Fixateur durch das Vermeiden von Fixateur-assoziierten Komplikationen deutlich verbessert.

Der Vorteil des Fitbone®-Nagels gegenüber anderen voll implantierbaren Systemen, wie Albizzia®-Nagel und ISKD®-Nagel, besteht in der stets kontrollierten Verlängerung durch den Motor. Die Verlängerungsgeschwindigkeit kann an das funktionelle Ergebnis und die Schmerzhaftigkeit der Patienten unter Berücksichtigung der Konsolidierungsgeschwindigkeit individuell angepasst werden. Durch die gleichmäßige Verlängerung durch den Motor fallen schmerzhafte Rotationsbewegungen zur Nagelverlängerung, wie sie bei dem Albizzia®-Nagel und ISKD®-Nagel notwendig sind, weg. Auch ein „run-away-nail“ mit Konsolidierungsstörungen durch unbewusste Beinbewegungen im Schlaf spielen beim Fitbone®-System keine Rolle (Baumgart 2006).

Die durchschnittlichen Schmerzwerte der Patienten stiegen nie über 5/10. Es kam zu einer deutlichen Beschwerdeminderung bei allen drei Patientengruppen nach dem Verlängerungsstopp. Viele Patienten waren sogar schmerzfrei. Dies lässt sich durch den fehlenden Verlängerungsstress und die verbesserte Anpassungsmöglichkeit des Gewebes gut erklären. Sicher spielen auch psychische Faktoren eine Rolle, da die Konsolidierungszeit mit weniger Angst und Ungewissheit verbunden ist.

## **6.2. Vergleich von Beweglichkeitsveränderungen mit äußeren Faktoren**

### **6.2.1. Vergleich der Verlängerungsstrecke mit empfundenen Schmerzen**

Die Frage nach den während der Behandlung zu erwartenden Schmerzen ist für viele Patienten ein wichtiges Kriterium bei der Entscheidung für eine operative Korrekturoperation der Extremitäten. Unerträgliche Schmerzen können die Moral von Patient und Behandlungsteam

stark mindern und im Extremfall auch ein Abbruchkriterium sein. Daher sollte untersucht werden, ob man die Schmerzen mit der Größe der Verlängerungsstrecke begründen kann.

In der Studie wurde in allen drei Patientengruppen kein Zusammenhang zwischen zunehmender Distraktionsstrecke und Schmerzempfinden der Patienten gefunden. Es wäre zu vermuten gewesen, dass die Schmerzhaftigkeit der Behandlung mit zunehmendem Distraktionsstress steigt. Es zeigte sich aber, dass das Schmerzempfinden der Patienten individuell sehr unterschiedlich war. Gerade bei der Schmerzempfindung spielen subjektive Faktoren eine große Rolle (Frischenschlager, Pucher 2002) Patienten, die große Angst vor Schmerzen haben, zeigten in der Studie von Roelofs et al. (2004) ein stärkeres Schmerzempfinden als Patienten mit geringer Angst vor Schmerzen. So könnte man das Ergebnis dadurch erklären, dass sich die Patienten mit zunehmender Verlängerungsstrecke an den Distraktionsstress gewöhnen und auch weniger Angst haben.

## **6.2.2. Vergleich mit der Verlängerungsstrecke**

Die Vermutung, dass eine zunehmende Verlängerungsstrecke zu größeren Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeit führt, konnte nicht bestätigt werden. Ein Zusammenhang zwischen Distraktionsstrecke und Knieextensionsdefizit ließ sich nicht zeigen. Die Patienten der Studie wurden während der gesamten Verlängerungsbehandlung intensiv physiotherapeutisch behandelt. Es ist anzunehmen, dass dadurch bei vielen Patienten Komplikationen, die während der Behandlung auftraten, frühzeitig vermindert werden konnten. Eine eingeschränkte Gelenkbeweglichkeit, wie z.B. ein Knieextensionsdefizit oder eine fixierte Spitzfußstellung im OSG, können zum Abbruch der Behandlung führen. Deshalb war es wichtig herauszufinden, ob diese Bewegungseinschränkungen durch die Länge der Distraktionsstrecke begründet werden können oder ob die Ursachen anderweitig gesucht werden müssen.

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass mit entsprechender Begleittherapie der Beinverlängerung zunächst keine festen Grenzen gesetzt sind. Wenn auftretende Gelenkbeweglichkeitsstörungen sofort intensiv behandelt werden, können diese sich auch schon während der Verlängerungsphase bessern. Da zwischen Verlängerungsstrecke und Gelenkbeweglichkeit kein Zusammenhang zu bestehen scheint, darf eine Verschlechterung der Beweglichkeit nicht mit der Zunahme der Distraktionsstrecke entschuldigt werden, sondern muss intensiv behandelt werden.

Auch Herzenberg et al. (1994) konnten in ihrer Studie „Knee Range of Motion in Isolated Femoral Lengthening“ 1994 keinen Zusammenhang zwischen Kniebeweglichkeit und Verlängerungsstrecke nachweisen.

Bhave et al. (unveröffentlichtes Manuskript 3) untersuchten den Zusammenhang zwischen finaler Kniebeweglichkeit und Quadricepsspannung mit verschiedenen Faktoren und konnten ebenfalls keinen Zusammenhang mit dem Prozentsatz der Verlängerung feststellen.

Kaljuma et al. (1995) untersuchten den Zusammenhang zwischen der Ermüdbarkeit der Muskulatur und dem Prozentsatz der Verlängerung, sowie zwischen Muskeler müdbarkeit und der präoperativen Beinlängendiskrepanz. Das Ergebnis der Studie zeigte, dass die Größe der Zerstörung von neuromuskulärem Gewebe abhängig ist von der Länge der Verlängerungsstrecke. Von allen Knieextensoren war der M. vastus medialis am stärksten betroffen.

### **6.2.3. Vergleich mit Alter und Geschlecht des Patienten**

Die Spannweite der Altersgruppe aller Patienten, die sich einer Distraktionsbehandlung unterziehen, ist sehr groß. Deshalb sollte die Frage geklärt werden, ob das Alter eine prognostische Rolle spielt. In dieser Studie lag das Alter zwischen 15 und 55 Jahren. Daher kann aus den Ergebnissen der Studie nur eine Aussage zu diesem Altersabschnitt gemacht werden.

Die Vermutung, dass jüngere Patienten, insbesondere im Anschluss an den Wachstumsabschluss, auf eine Distraction mit weniger Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeit reagieren, konnte nicht bestätigt werden. Dies ist erstaunlich, sollte man doch glauben, dass gerade die Körper der Adoleszenten noch auf Wachstum programmiert sind und das Gewebe den Distraktionsstress besser tolerieren kann. Durch die Studie wurde aber deutlich, dass das Alter für die Beweglichkeitsveränderungen während der Verlängerung nicht verantwortlich gemacht werden kann.

Auch Herzenberg et al. (1994) konnten in oben genannter Studie von 1994 keinen Zusammenhang dieser Faktoren feststellen.

Bhave (unveröffentlichtes Manuskript 3) zeigte in seiner Studie, dass Patienten, die 30 Jahre oder älter waren, mit größerer Wahrscheinlichkeit einen Kraftverlust im M. quadriceps femoris erlitten. Ein Zusammenhang mit der Gelenkbeweglichkeit wird in dieser Studie nicht erwähnt.

In allen drei Patientengruppen kam es bei den weiblichen Patienten zu geringeren Einschränkungen. Warum es zu einer besseren Beweglichkeit und Muskeldehnbarkeit bei den

Frauen kam, ließ sich durch die Studie nicht klären. Zumindest wurde aber deutlich, dass das Geschlecht eine prognostisch wichtige Rolle spielt.

Der Standardfehler lag bei der männlichen Gruppe deutlich höher als bei der weiblichen Gruppe, besonders bei den beiden Patientengruppen, die am Unterschenkel verlängert wurden. Verglichen wurde die Maximalverschlechterung der Knieextension. In der Gruppe der kombinierten Verlängerungen befand sich der Patient, der auf Grund schlechter Knieextensionswerte operativ revidiert werden musste. Daher variierten die Werte hier besonders stark. Eine Aussage über die Gruppe mit reiner Unterschenkelverlängerung darf auf Grund der geringen Fallzahl (3 Männer, 2 Frauen) nicht voll gewertet werden.

#### **6.2.4. Vergleich mit der Ursache der Beinverkürzung**

Auf der Suche nach weiteren prognostischen Faktoren während der Verlängerungsbehandlung wurde die Ursache der Beinverkürzung analysiert. Die auftretenden Bewegungseinschränkungen während des Behandlungsverlaufes bei Patienten mit wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen wurde mit den auftretenden Veränderungen bei Patienten mit erworbenen Beinlängenverkürzungen verglichen (z.B. Trauma, Operation). Dabei wurde unterschieden, ob das Trauma vor oder nach Wachstumsabschluss lag.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Patienten, die ein Trauma nach Wachstumsabschluss hatten, mit den geringsten Bewegungseinschränkungen während der Distraktionsbehandlung rechnen mussten. Dies ist mit Sicherheit damit zu begründen, dass beide Beine der Patienten vor dem Trauma gleich lang waren und das Weichteilgewebe die volle Länge tolerieren konnte. Allerdings war der Unterschied zu der Patientengruppe mit wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen deutlich kleiner als zu erwarten gewesen wäre. Der geringe Unterschied könnte darin begründet sein, dass die „traumatisierte“ Patientengruppe zum Teil vielfältige Voroperationen hatte und die Verlängerung nicht an einer sonst „gesunden“ Extremität vorgenommen werden konnte. Einige Patienten gaben an, dass es bei der Nachbehandlung von früheren Operationen auch zu Bewegungseinschränkungen gekommen war.

Bei den Patienten, die eine wachstumsbedingte Beinlängendifferenz hatten, waren die Ergebnisse im Durchschnitt nur geringfügig schlechter. Hierfür kann man als Begründung anführen, dass die gesamten Weichteilstrukturen noch nie die Ziellänge hatten und sich daher sehr viel träger an den Distraktionsstress anpassten. Der Vorteil dieser Patientengruppe war, dass die Operation in den meisten Fällen an einer „gesunden“ Extremität vorgenommen werden konnte und somit die Verlängerung nicht durch Narbengewebe von Voroperationen beeinflusst wurde. Bei vielen Patienten wurde die Beinverlängerung direkt nach Wachstumsabschluss im

jungen Erwachsenenalter vorgenommen. Die Ergebnisse der Studie legen die Vermutung nahe, dass die Weichteilstrukturen in dieser Lebensphase noch auf Wachstum programmiert sind und sich daher dem Distaktionsstress leichter anpassen.

Die größten Einschränkungen traten erwartungsgemäß bei der Patientengruppe auf, bei der das Trauma vor Wachstumsabschluss lag. Durch einen verfrühten Wachstumsstopp hatte das Weichteilgewebe nie die volle Länge tolerieren müssen, und zusätzlich erfolgte die Verlängerung an einer Extremität, die durch Trauma und diversen Voroperationen vorgeschädigt war. Umso erstaunlicher war es, dass die Ergebnisse dieser Gruppe nur um 18% unter denen der Gruppe mit wachstumsbedingten Beinlängendifferenzen lagen. Als Begründung dafür könnte man anführen, dass die Regenerationsfähigkeit kindlicher Knochen nach Traumata besser ist als im Erwachsenenalter. Somit stellt das verminderte Wachsen der Extremität das Kernproblem da. Auf Grund der geringen Patientenzahl in dieser Gruppe ist eine solche Aussage aber spekulativ.

Ähnliche Ergebnisse erzielten Maffulli et al. (2001), die in ihrer Studie von 2001 belegten, dass Patienten mit angeborener Beinlängendifferenz das Risiko einer schnelleren und permanenteren Einschränkung der Kniegelenksbeweglichkeit hatten als Patienten mit posttraumatischer oder postinfektiöser Beinlängendifferenz.

Auch Bhavé et al. (unveröffentlichtes Manuskript 3) zeigten, dass die Ätiologie der Beinlängendifferenz eine große Rolle spielt und Patienten mit angeborener Deformität ein höheres Risiko einer Gelenkkontraktur haben.

## **6.2.5. Vergleich mit präoperativer Beweglichkeit**

Die Studie sollte ermitteln, ob durch die präoperative Beweglichkeit der Patienten auf eine Beweglichkeit während der Therapie geschlossen werden kann. Es zeigte sich, dass Patienten mit guter präoperativer Beweglichkeit in diesem Vergleich minimal geringere Einschränkungen hatten als Patienten, die schon vor der Operation sehr unbeweglich waren. Daraus wird auch ersichtlich, wie wichtig präoperatives Training der Patienten ist. Die Patienten sollten schon vor der Operation intensive Muskeldehnung betreiben. Bewegungseinschränkungen sollten, wenn möglich, schon präoperativ ausgeglichen werden. Gerade bei Patienten, die längere Zeit ohne Schuhausgleich geblieben sind, ist ein Spitzfuß auf der kürzeren Seite nicht selten. Dieser sollte vor der Distraction behandelt werden, da er sich mit zunehmendem Distaktionsstress verschlechtern könnte. Trotzdem schützt auch eine gute präoperative Gelenkbeweglichkeit nicht vor Komplikationen, weshalb alle Patienten eine intensive funktionelle Physiotherapie durchführen sollten.

Barker et al. (2006) beschrieben in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen präoperativer Muskeldehnfähigkeit und postoperativer Gelenkbeweglichkeit. Ein Zusammenhang wurde festgestellt zwischen der präoperativen „Reservelänge“ des M. quadriceps und dem Verlust der Knieflexion während der Verlängerung. Ebenso konnte ein Zusammenhang zwischen dem Verlust der Knieextension und dem „straight leg raise“ festgestellt werden, sowie zwischen Knieextension und „Reservelänge“ der ischiocruralen Muskulatur. Daher können anhand der präoperativen Untersuchungen das Risiko für den Patienten, während der Verlängerungsbehandlung eine Bewegungseinschränkung zu erfahren, vorhergesagt werden.

## **6.2.6. Vergleich von Muskeltonus und Muskeldehnfähigkeit**

Es sollte geprüft werden, inwieweit eine Einschränkung der Muskeldehnfähigkeit durch eine Tonuszunahme zu erklären ist. Dabei zeigte sich in allen drei Gruppen, dass es bei vielen Muskeln einen Zusammenhang gab. Allerdings gab es auch Muskeln, die im Tonus sehr stark anstiegen, ohne dass sich die Dehnfähigkeit sehr veränderte. Andere Muskeln veränderten ihren Muskeltonus kaum, obwohl die Dehnfähigkeit stark nachließ.

Aus diesem Ergebnis kann man folgern, dass eine Tonuszunahme sicher eine Ursache der Minderung der Dehnfähigkeit ist, aber nicht als alleiniger Grund gewertet werden darf. Auch an dieser Stelle sei wieder auf die Wichtigkeit der Physiotherapie hingewiesen, die sowohl den Muskeltonus, als auch die Muskeldehnfähigkeit während der Behandlung positiv zu beeinflussen vermag.

## **6.3. Zusammenarbeit mit der Physiotherapie**

### **6.3.1. Resonanz auf Therapieverlaufsbögen**

Die Zusammenarbeit zwischen Operateuren, Physiotherapeuten der Klinik, den niedergelassenen Therapeuten und der Autorin war stets gut. Alle Patienten wurden einmal pro Woche von der Autorin untersucht und von den Therapeuten der Klinik behandelt. In Absprache mit



dem Operateur wurden Behandlungsschwerpunkte vorgeschlagen und an die niedergelassenen Physiotherapeuten weitergeleitet.

Die meisten Physiotherapeuten waren dankbar über Behandlungsvorschläge und setzten Tipps und Ratschläge der Klinik um. So wurden auftretende Probleme der Patienten schnell effektiv behandelt, was sicher einen wichtigen Stellenwert bei den guten Ergebnissen der Verlängerungsbehandlung hat.

Leider verfügten einige Therapeuten nicht über genügend Zeit, um selbst Behandlungsvorschläge zu machen. Sie füllten nur den Verlaufsbogen aus und dokumentierten ihre Behandlungsschwerpunkte. Andere Therapeuten nutzten die Chance, sich aktiv mit Vorschlägen einzubringen. Sicher spielte auch der persönliche Ehrgeiz des behandelnden Therapeuten eine große Rolle. Man konnte aber erkennen, dass viele Therapeuten, die eine Distraction zum ersten Mal behandelten, sehr froh über Hinweise und Erfahrungen waren.

Weshalb die Rücklaufquote der Therapiebögen von Therapeuten, deren Patienten an Ober- und Unterschenkel, sowie nur an Unterschenkeln verlängert wurden, sich so deutlich von den Patienten mit ausschließlich Oberschenkelverlängerung unterschied, konnte durch die Studie nicht geklärt werden. Der Unterschied könnte zufällig entstanden sein, oder einzelne Therapeuten waren möglicherweise unterschiedlich motiviert, sich aktiv an unserer Studie zu beteiligen.

### **6.3.2. Angewandte Therapieverfahren und Therapieziele durch niedergelassene Therapeuten**

An den durch die Therapeuten gesetzten Behandlungsschwerpunkten erkennt man, dass die Ratschläge der Klinik und die Behandlungsvorschläge des Nachbehandlungsbogens gut umgesetzt wurden. Ein Großteil der Therapeuten legte den Schwerpunkt auf bewegungserweiternde Techniken, aktive und passive Dehntechniken und detonisierende Techniken.

Mit den Ergebnissen der Studie und den Erfahrungsberichten der niedergelassenen Therapeuten konnte der Nachbehandlungsbogen noch weiter verbessert werden.

## **6.4. Patientenkollektive mit hohem Risiko für funktionelle Einschränkungen**

Anhand der Ergebnisse der Studie wurde ersichtlich, dass es keine wirklichen Risikofaktoren für die Beinverlängerung gibt. Faktoren wie Distraktionsstrecke und Alter spielten keine Rolle bei dem Auftreten von Schmerzen und bei der Verschlechterung der Gelenkbeweglichkeit. Das Geschlecht des Patienten und die Ätiologie der Beinverkürzung spielen eine kleine Rolle, ebenso wie die präoperative Beweglichkeit. Auch der Muskeltonus schien auf die Muskeldehnfähigkeit und somit auf die Gelenkbeweglichkeit einen Einfluss zu haben. Insgesamt waren aber die Ergebnisse interindividuell sehr unterschiedlich, wodurch man aufgrund der Daten nicht behaupten kann, dass es ein Patientenkollektiv mit einem besonders hohen Risiko gibt.

In der Studie von Maffulli et al. (2001) konnte gezeigt werden, dass es auch keinen Zusammenhang zwischen schlechtester Gelenkbeweglichkeit während der Verlängerung und Abschlusswert gab. Sie stellten bei ihrem Patientenkollektiv lediglich fest, dass Patienten mit angeborener Beinlängendifferenz schneller zu Bewegungseinschränkungen neigten und sich das Bewegungsdefizit langsamer erholte.

Auch Herzenberg et al. (1994) konnten keinen Zusammenhang zwischen schlechtester Kniebeweglichkeit während der Distraction und dem Abschlusswert feststellen. Auch sie geben an, dass lediglich die Ätiologie der Beinlängendifferenz eine prognostische Rolle spielt.

## **6.5. Zu erwartende funktionelle Einschränkungen während der Verlängerungsbehandlung**

Aufgrund der Ergebnisse der Studie kann man damit rechnen, dass es bei Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung zu einem Extensionsdefizit im Kniegelenk und zu einer Einschränkung der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk kommt. Die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur und der Wadenmuskulatur, besonders im dorsalen Bereich, wird wahrscheinlich nachlassen und der Tonus von ischiocruraler Muskulatur, Tractus iliotibialis und Wadenmuskulatur wird ansteigen. Gleichzeitig ist mit einer Schwellungsneigung im Kniegelenk zu rechnen. Die Schmerzen nehmen bis zum Verlängerungsstopp zu und gehen dann schlagartig zurück.

Bei den Patienten mit alleiniger Oberschenkelverlängerung ist auch mit Einschränkungen bei der Kniebeweglichkeit zu rechnen, besonders der Knieextension. Diese fallen aber deutlich geringer aus als bei kombinierter Verlängerung. Ebenfalls sind Einschränkungen in der Dehnfähigkeit und ein Tonusanstieg der ischiocruralen Muskulatur zu erwarten. Auch hier kommt es zur Tonuserhöhung des Tractus iliotibialis. Wie bei der kombinierten Verlängerungsbehandlung kann man auch hier mit einer Schwellungsneigung des Kniegelenks rechnen. Starke Schmerzen sind bei alleiniger Oberschenkelverlängerung nicht zu erwarten und man kann auch hier mit einer deutlichen Beschwerdeminderung nach Verlängerungsstopp rechnen.

Die Knieextension ebenso wie die Dorsalextension im OSG sowie die Supination sind die zu erwartenden Einschränkungen bei der Unterschenkelverlängerung. Analog zu den oben genannten Veränderungen kann auch hier mit einer Verkürzung der ischiocruralen Muskulatur sowie der gesamten Unterschenkelmuskulatur gerechnet werden. Ein Tonusanstieg der Achillessehne sowie der gesamten Unterschenkelmuskulatur ist wahrscheinlich. Auch eine Schwellungsneigung des distalen Unterschenkels und des Kniegelenks ist unvermeidbar. Die Schmerzen haben ihren Höhepunkt postoperativ und sind dann abnehmend. Nach Verlängerungsstopp kann mit Schmerzfreiheit gerechnet werden.

Wenn man die Summe der funktionellen Einschränkungen im Zeitverlauf der Verlängerungsbehandlung betrachtet, wurde deutlich, dass man mit den größten Einschränkungen direkt postoperativ und im Verlängerungsverlauf rechnen muss. Fast alle Einschränkungen besserten sich nach Verlängerungsstopp rasch und bildeten sich größtenteils bis zur Abschlussuntersuchung vollständig zurück.

Motmans und Lammens (2008) untersuchten die Einflussfaktoren für den Verlust der Gelenkbeweglichkeit bei der Verlängerung mit der Ilizarov-Methode. Es zeigte sich ein starker Abfall der Beweglichkeit in der Latenzzeit zwischen Operation und Verlängerungsbeginn. Der Beugeverlust schritt während der Distraction fort. Es zeigte sich ein Zusammenhang zwischen schlechtester Beweglichkeit während der Verlängerung und dem finalen Beugeverlust im Kniegelenk. Intensive Physiotherapie ist laut Motmans und Lammens besonders in dieser Latenzphase wichtig, da es in dieser Zeit zu einem rapiden Verlust der Kniebeugung kommt. Sie betonten auch die Wichtigkeit der begleitenden physikalischen Therapie während der gesamten Verlängerungsphase, da der Flexionsverlust weiter anhält.

## **6.6. Möglichkeiten eines allgemeingültigen Behandlungsschemas**

Die Ergebnisse der Studie ermöglichen allgemeingültige Empfehlungen für die Nachbehandlung von Patienten mit komplexen Korrekturoperationen ihrer Extremitäten. Diese können aber keine uneingeschränkte Gültigkeit haben, weil die Patientengruppe sehr heterogen ist und die auftretenden Probleme und Komplikationen sehr stark interindividuell schwanken. Trotzdem zeigten sich bei der Studie Parallelen zwischen den einzelnen Patienten und Komplikationen, die bei sehr vielen Patienten auftraten. Deshalb kann man allgemeine Empfehlungen geben, um gewissen Problemen schon vor dem Auftreten von Symptomen vorzubeugen. Es ist wichtig, dass die Patienten regelmäßig von Therapeuten befundet werden, die im Bereich der Kallusdistraktion sehr erfahren sind, damit auch auf individuelle Probleme effektiv und schnell reagiert werden kann.

## **6.7. Erfahrungen und Empfehlungen**

Besonders bewährt hat sich bei den Patienten der Studie ihre wöchentlich stattfindende professionelle Befundung und Behandlung durch in der Kallusdistraktionsbehandlung erfahrene Therapeuten. So konnte neben dem allgemeingültigen Behandlungsschema, das allen Therapeuten ausgehändigt wurde, jeder Patient ganz individuell begutachtet werden und auf Probleme sehr rasch und effektiv reagiert werden.

Folgende Empfehlungen ergeben sich aufgrund der Ergebnisse der Studie:

- Vor der Operation sollte eine intensive Vorbereitung durch Muskeldehnung erfolgen.
- Evtl. vorbestehende Kontrakturen sollten, wenn möglich, vor der Verlängerung korrigiert werden.
- Die Patienten sollten analog des im Anhang genannten Nachbehandlungsschemas mindestens viermal pro Woche eine Stunde lang physiotherapeutisch behandelt werden.
- Einmal pro Woche sollten sie von einem mit Verlängerungsbehandlungen vertrauten Physiotherapeuten befundet werden.
- Enge Zusammenarbeit zwischen Operateur, befundenden Physiotherapeuten und niedergelassenen Physiotherapeuten anhand eines wöchentlich ausgetauschten Therapieverlaufsbogens (siehe Anhang).

## 7. Zusammenfassung

Durch die ständige Weiterentwicklung und die Möglichkeit, eine Beinverlängerung mit einem voll implantierbaren System durchzuführen, ergeben sich für die physiotherapeutische Behandlung völlig neue Therapieperspektiven. Ziel der Studie war es, funktionelle Probleme und Zusammenhänge, die bei der Kallusdistraction bei einer Vielzahl der Patienten auftreten, herauszuarbeiten und möglichst allgemeingültige Behandlungsempfehlungen zu erstellen, an dem sich Physiotherapeuten orientieren können. Um diese Frage zu klären, wurden zunächst die Nachbehandlungsstrategien anderer großer Beinverlängerungszentren wie z.B. des International Center for Limb Lengthening Sinai Hospital in Baltimore und des Zentrum von Dr. Jean-Marc Guichet in Marseille begutachtet und mit dem gängigen Nachbehandlungsregime in München verglichen. Unter Einbeziehung der Ergebnisse unserer Studie konnte dadurch ein Standard für die Nachbehandlung erarbeitet werden.

In der vorliegenden Studie wurden 25 Patienten in der Verlängerungsphase wöchentlich und in der Konsolidierungsphase alle vier bis acht Wochen klinisch untersucht. Darunter waren neun Patienten mit kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung, elf Patienten mit alleiniger Oberschenkel- und fünf Patienten mit alleiniger Unterschenkelverlängerung. Alle Patienten unterzogen sich einer intensiven, mindestens viermal pro Woche stattfindenden ambulanten physiotherapeutischen Behandlung in Heimnähe, die durch ein intensives Heimübungsprogramm ergänzt wurde. Jedes Mal, wenn der Patient zur klinischen Untersuchung durch die Autorin kam, wurde er von Physiotherapeuten der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt behandelt. Das Ergebnis der klinischen Untersuchung wurde zusammen mit Behandlungsempfehlungen an den niedergelassenen Therapeuten mittels eines Therapieverlaufs-bogens weitergegeben. Die niedergelassenen Therapeuten hatten ihrerseits die Möglichkeit, Fragen zu stellen und ihre eigene Therapie zu evaluieren. Dadurch konnte auf auftretende Probleme und Komplikationen sofort reagiert werden.

Um die heterogene Gruppe der Studienpatienten miteinander vergleichen zu können, wurden für die Auswertung 5 Standarduntersuchungstermine festgelegt: präoperativ, postoperativ, Verlängerungsmittle, Verlängerungsstopp und Abschlussuntersuchung. Die Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeiten wurden relativ dargestellt, jeweils als Anteil der laut Literatur zu

erwartenden Maximalbewegung. Auf diese Art und Weise konnten auch Bewegungseinschränkungen an unterschiedlichen Gelenken miteinander verglichen werden.

Es zeigte sich, dass es bei fast allen Patienten zu einer Einschränkung der Kniebeweglichkeit kam. Die funktionelle Bedeutung eines Streckdefizits war dabei schwerwiegender, aber auch die Flexion im Kniegelenk ließ im Verlängerungsverlauf deutlich nach. Bei Patienten, deren Unterschenkel verlängert wurde, zeigte sich häufig eine Spitzfußkomponente mit Einschränkung der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk. Deutlich war bei den meisten Patienten ein Nachlassen der Dehnfähigkeit der gesamten dorsalen Muskelkette zu erkennen. Gleichzeitig kam es zu einem Tonusanstieg von ischiocruraler Muskulatur, Tractus iliotibialis und der Wadenmuskulatur einschließlich Achillessehne. Nach Verlängerungsstopp waren die Veränderungen rückläufig und verschwanden zum Teil ganz. Bei einigen Patienten war das Ergebnis zur Abschlussuntersuchung hin sogar besser als vor der Operation.

Bei allen drei Patientengruppen kam es zu einer Umfangzunahme auf Höhe des Kniegelenks. Bei Unterschenkelverlängerung stieg der Umfang auch im Bereich des oberen Sprunggelenkes sowie 10 cm proximal davon an. Die Schmerzen waren bei allen drei Patientengruppen bis zum Verlängerungsstopp zunehmend und gingen dann schlagartig zurück. Aus einer alleinigen Oberschenkelverlängerung ergaben sich die geringsten Schmerzen.

Ein Zusammenhang zwischen Verlängerungsstrecke und vom Patienten empfundener Schmerzen konnte ebenso wenig gefunden werden wie ein Zusammenhang der Distraktionsstrecke mit der Verschlechterung der Gelenkbeweglichkeit. Auch das Alter der Patienten spielte keine prognostische Rolle. Es zeigte sich aber, dass Frauen in allen drei Patientengruppen bessere Ergebnisse erzielten. Patienten, die ein Trauma nach Wachstumsabschluss hatten, deren Gewebe also bereits die volle Länge tolerieren musste, hatten deutlich weniger Einschränkungen als Patienten, deren Beine vorher nie lang waren, z.B. auf Grund von einer wachstumsbedingten Beinlängendifferenz oder einem Trauma vor Epiphysenfugenschluss. Ebenso schien es, dass Patienten mit einer guten präoperativen Beweglichkeit leicht geringere Bewegungseinschränkungen im Kniegelenk aufwiesen. Ein Zusammenhang wurde auch zwischen Muskeldehnfähigkeit und Muskeltonus deutlich. Es gab allerdings Muskeln, die bei nur leichtem Tonusanstieg stark in der Dehnfähigkeit nachließen, wie z.B. die ischiocrurale Muskulatur. Andere blieben in ihrer Dehnfähigkeit nahezu unverändert und stiegen aber im Tonus stark an, wie z.B. der Tractus iliotibialis.

Anhand der ausgefüllten Therapieverlaufsbögen und vor allem anhand der verbesserten Werte der Patienten zur Abschlussuntersuchung hin lässt sich erkennen, dass die Zusammenarbeit mit den niedergelassenen Therapeuten sehr gut war.

Die Frage, ob man für die Beinverlängerung ein allgemeingültiges Nachbehandlungsschema erstellen darf, kann bejaht werden. Es zeigten sich viele Parallelen in den einzelnen Patienten-

gruppen, so dass es wichtig ist, zu erwartende Probleme und Veränderungen schon prophylaktisch physiotherapeutisch zu behandeln. Dies ersetzt aber nicht eine, wenn möglich wöchentliche, individuelle, professionelle Befundung jedes einzelnen Patienten durch einen in der Kallusdistraction erfahrenen Physiotherapeuten. Diese sollte sowohl der Beratung der niedergelassenen Therapeuten dienen als auch der Kontrolle des Therapieerfolges. Eine Kommunikation zwischen niedergelassenem Therapeuten, Referenztherapeuten des OP-Teams und Operateur ist unerlässlich.

## 8. Lebenslauf

Geburtsdatum: 28.05.1975  
Geburtsort: Brügge, Belgien

### Schule:

1985 - 1994 Mathematisch-naturwissenschaftliches Gymnasium Pullach  
(Leistungskurse Sport und Englisch)

### Berufsausbildung:

1995 -1998 **Berufsausbildung zur staatlich anerkannten Physiotherapeutin**  
Berufsfachschule für Physiotherapie, Augsburg

### Studium:

1998 - 2005 **Medizinstudium an der Ludwig Maximilians Universität München**  
Physikum im August 2000  
1. Staatsexamen im August 2001  
2. Staatsexamen im März 2004  
3. Staatsexamen im April 2005

### Berufstätigkeit:

Seit Sept. 2005: Stationsärztin in der Orthopädie und Kardiologie der Klinik Höhenried in  
Bernried



**Dissertation:**

**„Quantifizierung funktioneller Parameter zur Verbesserung physiotherapeutischer Behandlungskonzepte nach komplexen Korrekturoperationen mit voll implantierbaren Distraktionsmarknägeln an Ober- und Unterschenkel“**

Betreuer: Prof. Dr. med. R. Baumgart, Zentrum für korrigierende und rekonstruktive Extremitätenchirurgie München (ZEM)

In diesem Rahmen:

Studienreise zu Dr. D. Paley, Dr. JE Herzenberg und A. Bhave,  
International Center for Limb Lengthening, Sinai Hospital of Baltimore, USA

Vortrag am ASAMI – Kongress 2004 in Leipzig über “Ursachen der Extensionsminderung im Kniegelenk während einer Verlängerungsbehandlung – eine klinische Studie“

**Famulaturen:**

- |             |  |
|-------------|--|
| März 2001   | Department of Orthopaedics and Children Orthopaedics,<br>Seattle, University of Washington, USA.                       |
| März 2002   | Department of Paediatrics, Emergency Room and General Medicine,<br>West Gippsland Hospital, Victoria state, Australien |
| August 2002 | Praxisfamulatur Physikalische Medizin, Dr. Plenk, München.   |
| März 2003   | Department of Anaesthesiology , Lam Wah Ee Hospital Penang, Malaysia   |

**Praktisches Jahr:****Innere Medizin:**

- |           |   |
|-----------|---|
| März 2004 | Hospital Clínico Universitario Virgen de la Victoria, Universidad de Málaga,<br>Spanien |
| Juni 2004 | Medizinische Intensivstation, Städtisches Krankenhaus München Harlaching                |

**Orthopädie:**

- |             |  |
|-------------|--|
| August 2004 | Orthopädische Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz |
|-------------|--|

**Chirurgie:**

- |           |  |
|-----------|--|
| Dez. 2004 | Chirurgische Klinik und Poliklinik Innenstadt, München |
|-----------|--|

**Sprachkenntnisse:**

Deutsch, Englisch, Spanisch

## 9. Literatur

- Adler C-P. (2005). Knochenkrankheiten. Berlin, Springer Verlag
- Barker, K. L. Shortt, N. L, Simpson H.L. (2006). "Predicting the loss of knee flexion during limb lengthening using inherent muscle length." J Pediatr Orthop B 15(6): 404-7.
- Barker, K. L. Simpson, A. H, Lamb, S.B. (2001). "Loss of knee range of motion in leg lengthening." J Orthopedic Sports Phys Ther 31(5): 238-44; discussion 245-6.
- Baumgart, R., Burklein, D., Hinterwimmer, S. Thaller, P. Mutschler, W. (2005). "The management of leg-length discrepancy in Ollier's disease with a fully implantable lengthening nail." J Bone Joint Surg Br 87(7): 1000-4.
- Baumgart R. (1996). Das Bein wächst täglich um 1mm - im Schlaf! Forschung an der Ludwig-Maximilians-Universität München. 2: 6-10.
- Baumgart R., Betz A., Schweiberer L.(1997). A fully implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport. Clin Orthop Relat Res 343: 135-43.
- Baumgart R, Thaller P, Hinterwimmer S, Krammer M, Hierl T, Mutschler W: (2006)  
A fully implantable, programmable distraction nail (Fitbone) – new perspectives for corrective and reconstructive limb surgery. In: Practice of Intramedullary Locked Nails. New developments in Techniques and Applications. (ed): Leung KS, Taglang G, Schnettler R, Springer Verlag Heidelberg, New York 2006, S. 189-198
- Baumgart R., Zeiler C, Kettler M, Weiss S, Schweiberer L (1999). Der voll implantierbare Distraktionsmarknagel bei Verkürzung, Deformitäten und Knochendefekten. Der Orthopäde 28: 1058-1065.

- Bhave, A., Paley, D., Herzenberg, J.E. (1999). "Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy." J Bone Joint Surg Am 81(4): 529-34.
- Bhave A.,(unveröffentlichtliches Manuskript 1). Physical Therapy Protocol: Congenital short Femur Lengthening.
- Bhave A., P. (unveröffentlichtliches Manuskript 2). Physical Therapy management of Complications of Limb Lengthening.
- Bhave A.; Paley D.; Herzenberg J.; Apelyan A.; Tennis S. (unveröffentlichtliches Manuskript 3) Knee range of motion & quadriceps strength after femoral lengthening
- Bickley L. S. Hoekelman R. A. (2000). Bates`Pocket Guide to Physical Examination and History Taking. Philadelphia, Lippincott.
- Bier A., (1923). Über Knochenregeneration, über Pseudarthrosen und über Knochentransplantate. Archiv für klin. Chirurgie 127 (1923) 1-136
- Brokmeier A. A. (1996). Manuelle Therapie. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag.
- Butler D.S. (2000). The sensitive nervous system. 1<sup>st</sup> ed. Unley, S.Aust.: Noigroup Publications.
- Codavilla A. (1905) On the Means of lengthening in the Lower Limbs, the Muscles and the Tissues with are Shortened through Deformity. Amer. J. Orthop. Surg. 2 (1905) 535
- Debrunner A. M. (1995). Orthopädie, Orthopädische Chirurgie. Zürich, Verlag Hans Huber.
- Elvey R., Hall T.,(2004) Neural Tissue Evaluation and Treatment. In: Donatelli R., editor. Physical therapy of the shoulder. 4th ed. St Louis: Churchill Livingstone, S. 187-203.

- Fink B. (1999). "Das Verhalten der Weichteilstrukturen bei der orthopädischen Beinverlängerung." Orthopäde 12.99: 1007-1014.
- Fischgrund, J., D. Paley, et al. (1994). "Variables affecting time to bone healing during limb lengthening." Clin Orthop Relat Res(301): 31-7.
- Friedrichsen M., Hickelmann U., Lärm G., Langwall J., Damp (1997). Leitfaden Manuelle Therapie. Lübeck, Stuttgart, Jena, Ulm, Gustav Fischer Verlag.
- Frischenschlager, O., I. Pucher (2002). Psychological management of pain. Disabil Rehabil 24: 416-22.
- Geisler L. (2003). Lexikon Medizin. München, Urban & Schwarzenberg Verlag für Medizin.
- Gleixner C., Müller M., Wirth S., (2002/2003). Neurologie und Psychiatrie. Breisach, Medizinische Verlags- und Infodienste.
- Goodyer P. (2001). Techniques in musculoskeletal rehabilitation. Singapore, McGraw-Hill.
- Grill F., (1989), Corrections of Complicated Extremity Deformities by External Fixation, Clin Orthop Relat Res 241 (1989) 166-175
- Grill F., Chochole M., Schulz A., (1990), Beckenschiefstand und Beinlängendifferenz, Orthopäde 19 (1990) 244-262
- Guichet J.-M. (1999). Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur mit dem Femur-Albizzia Nagel. Orthopäde 12.99: 1066-1077.
- Hankemeier, S., Gosling, T. Pape, H. C., Wiebking, U., Krettek, C. (2005). "Limb lengthening with the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD)." Oper Orthop Traumatol 17(1): 79-101.

Hankemeier, S, Pape., H. C., Gosling, T., Hufner, T., Richter, M., Krettek, C. (2004). "Improved comfort in lower limb lengthening with the intramedullary skeletal kinetic distractor. Principles and preliminary clinical experiences." Arch Orthop Trauma Surg 124(2): 129-33.

Herzenberg J. E., Scheufele L. L., Paley D., Bechtel R., Tepper S. (1994). Knee range of motion in isolated femoral lengthening. Clin Orthop Relat Res 301: 49-54.

Jerosch., J (2005). "Continuous Passive Motion (CPM) für Zehen." Fuß & Sprunggelenk. Volume 3 (Number 3): 172-173.

Kaljuma, U. Martson, A., Haviko, T., Hanninen, O. (1995). "The effect of lengthening of the femur on the extensors of the knee. An electromyographic study." J Bone Joint Surg Am 77(2): 247-50.

Ilizarov G.A., (1988). The principles of the Ilizarov method, Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst 48: 1-11

Langenbeck B. von (1869). Über krankhaftes Längenwachstum der Röhrenknochen und seine Verwertung für die chirurgische Praxis, Berliner Klin. Wochenschrift 6 (1869) 265-270

Kasseroller, R. (1999): Kompendium der Manuellen Lymphdrainage nach Dr. Vodder.  
Heidelberg: Haug.

Konin J. G. , Wiksten D. L., Isear J. A., (1997). Special Tests for Orthopedic Examination.  
Thorofare, New Jersey, USA, Slack.

Kocaoglu, M., Eral, L., Kilicoglu, O. Burc, H. Cakmak, M. (2004). "Complications encountered during lengthening over an intramedullary nail." J Bone Joint Surg Am 86-A (11): 2406-11.

- Kaljuma, U., Martson A., Haviko, T., Hanninen, O. (1995). "The effect of lengthening of the femur on the extensors of the knee. An electromyographic study." J Bone Joint Surg Am 77(2): 247-50.
- Krämer K.-L., Stock M., Winter M., Winter M. (1997). Klinikleitfaden Orthopädie. Ulm, Gustav Fischer Verlag.
- Kwan, M. K., Penafort, R., Saw, A. (2004). "Treatment for flexion contracture of the knee during Ilizarov reconstruction of tibia with passive knee extension splint." Med J Malaysia 59 Suppl F: 39-41.
- Maffulli N., Nele U., Matarazzo L (2001). Changes in knee motion following femoral and tibial lengthening using the Ilizarov apparatus: a cohort study. J Orthop Sci 6: 333-338.
- Motmans, R., Lammens, J., (2008). "Knee mobility in femoral lengthening using Ilizarov's method." Acta Orthop Belg 74(2): 184-9.
- Muhl, Z. F. (1982). "Active length-tension relation and the effect of muscle pinnation on fiber lengthening." J Morphol 173(3): 285-92.
- Morscher E (1972). Ätiologie und Klinik der Beinlängenunterschiede. Orthopäde 1 (1972) 1-6
- Niethard F. U., Pfeil J. (2003). Orthopädie. Stuttgart, Thieme.
- Nogueira M. P., Paley D., Nogueira M. P., Bhav, A., Herbert A., Nocente C., Herzenberg J. E. (2003). Nerve lesions associated with limb-lengthening. J Bone Joint Surg Am 85-A: 1502-1510.
- Paley, D. (1990). Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. Clin Orthop Relat Res 250: 81-104.

- Peterson K. F., Kendall McCreary E., Geise P. P. (2001). Muskeln Funktionen und Tests. München, Urban & Fischer Verlag.
- Roelofs, J., Peters M. L., (2004). Does fear of pain moderate the effects of sensory focusing and distraction on cold pressor pain in pain-free individuals? J Pain 5: 250-256.
- Pfeil J, Grill F., Graf R. (1996). Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur, Pseudarthrosebehandlung. Berlin, Springer Verlag
- Schäffler A., Renz U. (1996). Leitfaden Physiotherapie. Lübeck, Jungjohann Kitteltaschenbuch.
- Sharman M.J., Cresswell, A.G., Riek S., (2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: mechanisms and clinical implications. Sports Med 36(11):929-39.
- Stein G. (2005). Rehabilitation in der Orthopädie und Sportmedizin. Heidelberg, Springer Medizin Verlag.
- Trnavski, G. (1991): Grundzüge der Physikalischen Medizin. Wien-München-Bern: Wilhelm Maudrich.
- Wieben K., Falkenberg B. (1991). Muskelfunktionen. Stuttgart, Thieme.
- Wiemann K., Hahn K., (1997). Influences of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. Int J Sports Med 18: 340-346.
- Williams, P., Kyberd, P., Simpson, H., Kenwright, J., Goldspink, G. (1998). "The morphological basis of increased stiffness of rabbit tibialis anterior muscles during surgical limb-lengthening." J Anat 193 (Pt 1): 131-8.

Young, N. L., Davis, R. J., Bell, D. F., Redmond, D. M. (1993). "Electromyographic and nerve conduction changes after tibial lengthening by the Ilizarov method." J Pediatr Orthop 13(4): 473-7.



## 10. Danksagung

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Rainer Baumgart für die Überlassung des Dissertationsthemas, für die im Rahmen der Betreuung dieser Arbeit erbrachten Anregungen sowie die konstruktive Kritik und Geduld mit seiner Doktorandin.

Großer Dank gebührt darüber hinaus dem gesamten Team des „Zentrums für korrigierende und rekonstruktive Extremitätenchirurgie München (ZEM)“ das mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

An dieser Stelle möchte ich mich besonders für die Zusammenarbeit mit den Physiotherapeutinnen der Chirurgischen Klinik Innenstadt bedanken, die mich bei der Erhebung der Daten kräftig unterstützt haben. Dabei behandelten sie die Studienpatienten neben ihren eigentlichen Aufgaben zusätzlich im Wochentakt und waren immer kompetente Ansprechpartner, wenn es um die Erprobung neuer Therapien ging.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. D. Paley, Dr. JE Herzenberg und A. Bhave, International Center for Limb Lengthening, Sinai Hospital of Baltimore, USA. Sie haben mich zu einer Studienreise nach Baltimore eingeladen, bei der ich interessante Eindrücke der dortigen Nachbehandlungsstrategien bei komplexen Korrekturoperationen bekam.

Zuletzt bedanke ich mich bei allen hier nicht genannten Personen, die mir bis zur Fertigstellung meiner Arbeit zur Seite standen.

## **11. Anhang**

### **11.1.Untersuchungsbogen**

#### **11.1.1. Präoperativer Bogen**

#### **11.1.2. Verlaufsbogen**

### **11.2.Nachbehandlungsschema**

### **11.3.Therapieverlaufsbogen**

## Untersuchungsbogen (präoperativ):

Name:

Geburtsdatum:

Anamnese:

Jetzige Beschwerden:

Schmerzen (von 1-10):

Diagnose:

Geplante OP:

Medikation:

Achsenfehlstellung / Rotationsfehler:

Beweglichkeit nach Neutral-Null:

	Rechts	Gesambeweg.	Links	Gesambeweg.
Flex/Ext Hüfte				
Abd/Add Hüfte				
Aro/Iro Hüfte				
Flex/Ext Knie				
Dext/Pflex OSG				
Pron/Sup. USG				
Zehenflex./-ext.				

## Muskelfunktionstests:

	Rechte Seite					Linke Seite				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Zehenextensoren										
Ext. hallucis long.										
Zehenflexoren										
Tibialis ant.										
Tibialis post.										
Peronaen										
Satorius										
Hüftabduktoren										
Hüftadduktoren										
Ischiocrurale Musk.										
Glutaeus max.										
Quadriceps										
Iliopsoas										
Innenrotatoren im HG										
Außenrot. im HG										
Gastrocn. + Soleus										

## Funktionelle Tests:

### 1.) Trendelenburgtest:

Rechts: Positiv: \_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Negativ: \_\_\_\_\_ (5 Punkte)  
 Links: Positiv: \_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Negativ: \_\_\_\_\_ (5 Punkte)

## Hüftflexoren:

### 2.) Test des m. iliopsoas: Messen der Extension im Hüftgelenk bei gestrecktem Kniegelenk und maximal flektierter kontralateraler Seite (Thomastest).

Messwert: re: \_\_\_\_\_ li: \_\_\_\_\_

### 3.) Test des m. rectus femoris: Messen der Knieflexion bei max. Hüftextension in Abd/Add- Nullstellung und maximal flektierter kontralateraler Seite.

Messwert: re: \_\_\_\_\_ li: \_\_\_\_\_

### 4.) Test des m. satorius: Abweichen in Abd., Flex, AR im Hüftgelenk und Flex im Kniegelenk beim Thomastest: Abweichung?

Rechts: Positiv: \_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Negativ: \_\_\_\_\_ (5 Punkte)  
 Links: Positiv: \_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Negativ: \_\_\_\_\_ (5 Punkte)

**5.) Elytest:** Pat. in BL. Messen ab wie viel Grad Flexion im KG eine Flexion im Hüftgelenk eintritt.

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**6.) Test des m. tensor fasciae latae (Obertest):** In Seitenlage wird das obere Bein in Abduktion und Extension gebracht, dann darf das Bein adducieren. Adduktion möglich?

Rechts: keine Add möglich:\_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Add. möglich:\_\_\_\_\_ (5 Punkte)  
Links : keine Add möglich:\_\_\_\_\_ (0 Punkte)      Add. möglich:\_\_\_\_\_ (5 Punkte)

### **Hüftgelenkextensoren:**

**7.) Test der Ischiocruralen Muskulatur:** Einstellung der Hüfte in 90° Flexion bei extendierter kontralateraler Seite, messen der Knieextesion.

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**8.) Finger - Boden – Abstand:**

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**9.) Lasègue – Test:** positiv bei wie viel Grad Hüftflexion?

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

### **Hüftadduktoren:**

**10.) Kurze Adduktoren:** Messen der Abduktion bei extendiertem Hüftgelenk und flektiertem Kniegelenk:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**11.) M. gracilis:** Messen der Abduktion bei extendiertem, innenrotiertem Hüftgelenk und extendiertem Kniegelenk

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**12.) M. adduktor magnus:** Angestelltes Bein in Abduktion bewegen:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**13.) Außenrotatoren im Hüftgelenk:** In Rückenlage wird das 90° flektierte Bein in Außenrotation gebracht.

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**14.) Innenrotatoren im Hüftgelenk:** wie oben nur Messen der Innenrotation:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

### **Unterschenkelmuskulatur:**

**15.)** M. gastrocnemius: RL, Knie in Extension, messen der dext im OSG

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**16.)** M. soleus: BL, Knie in Flexion, messen der dext im OSG:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**17.)** M. tibialis post.: wie m. soleus, nur mit Pronation:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**18.)** M. tibialis ant.: Messen der pflex in Pronation:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**19.)** Mm peronaei: Messen der pflex in Supination:

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**20.)** Patellabeweglichkeit: (von 0 = keine Bewegung bis 5 = normal beweglich)

Punkte re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**21.)** Kniegelenkserguss? (von 0 = großer Erguss bis 5 = kein Erguss)

Punkte re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

**22.)** Schwellung: (Umfangmessung an 3 sinnvollen Punkten im Seitenvergleich)

Messwert: re:\_\_\_\_\_ li:\_\_\_\_\_

### **Sensibilität:**

- Nerventest:  
*N. ischiadicus:*

*N. femoralis:*

- Berührungssensibilität:

- Lageempfinden:

### **Muskeltonus:**

- Hüftflexoren  
*Rectus fem:*  
*Vastus med.*  
*Vastus lat.*  
*Iliacus*
- Hüftadduktoren
- Ischicrurale Muskulatur  
*Biceps fem.*  
*Semimembranosus /-tendinosus*
- Gastrocnemius
- Zehenflexoren

### **Besonderheiten und Auffälligkeiten:**

**Verlaufsbogen:****Name:**  
**Diagnose:****Geburtsdatum:****Medikation:****Anzahl KG / Woche:****Jetzige Beschwerden:**

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

**Schmerzen (von 1-10):**

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

**Beweglichkeit:**

Datum									
Flex / Ext Hüfte									
Abd / Add Hüfte									
Aro / Iro Hüfte									
Flex / Ext Knie									
Dext / Pflex OSG									
Pron / Sup. USG									
Zehenflex / Zehenext									



# **Funktionelle Tests:**

Datum:									
1. Trendelenburg									
2. M. iliopsoas									
3. M. rectus femoris									
4. M. satorius									
5. Elytest									
6. M. tensor fasciae latae									
7. Ischiocrurale Muskulatur									
8. Finger-Boden-Abstand									
9. Lasègue									
10. Kurze Adduktoren									
11. M. gracilis									
12. M. adductor magnus									
13. Außenrotatoren im Hüftgelenk									
14. Innenrotatoren im Hüftgelenk									
15. M. gastrocnemius									
16. M. soleus									
17. M. tibialis posterior									
18. M. tibialis anterior									
19. Mm peronei									
20. Patellabew.									
21. Kniegelenks-erguss									
22. Schwellung									

**Sensibilität:**

- Berührungssensibilität:

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

**Muskeltonus:**

- Hüftflexoren (Rectus fem. Vastus med., Vastus lat., Iliacus)
- Hüftadduktoren
- Ischiocrurale Muskulatur (Biceps fem., Semimembranosus und -tendinosus)
- Gastrocnemius
- Zehenflexoren

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

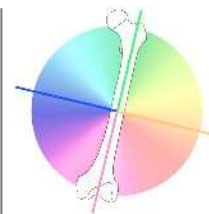
\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datum\_\_\_\_\_ Befund:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**ZEM**

**Prof. Dr. med.  
Rainer Baumgart**

Facharzt für Chirurgie und  
Unfallchirurgie  
Dipl.-Ing. (Univ.)

**Dr. med.  
Peter H. Thaller**

Facharzt für Chirurgie

Gemeinschaftspraxis

Fitbone® - COE  
Germany

International  
Education Center

- Längendifferenzen an Armen und Beinen
- Ein- und beidseitiger Kleinwuchs
- Achsenfehlstellungen
- Knocheninfektionen
- Knochendefekte und Falschgelenke
- Knochentumore

**ambulant**  
Nymphenburger Str. 1  
D – 80335 München  
U1 Stiglmaierplatz

**stationär**  
KH Barmherzige Brüder  
Romanstr. 93  
D – 80639 München  
Tram 12,16,17 Romanplatz

**Sekretariat**  
Bettina Geyer

Tel: +49 / (0)89 5434 896-0  
Fax: +49 / (0)89 5434 896-19  
Sprechzeiten n. Vereinbarung

E-Mail: [info@zem.info](mailto:info@zem.info)  
[www.beinverlaengerung.de](http://www.beinverlaengerung.de)

**Bankverbindung**  
Kto: 6 529 062  
BLZ: 700 906 06  
Deutsche Apotheker- &  
Ärztbank München

## Nachbehandlungsempfehlung für Patienten bei Kallusdistraction mit voll implantierbaren Fitbone® - Distraktionsmarknägeln

Die physiotherapeutische Nachbehandlung bei Patienten, die sich einer Kallusdistraction unterziehen, ist für das Behandlungsergebnis von entscheidender Bedeutung. Zur Vermeidung von Komplikationen wie Muskelkontraktionen, Muskelatrophie, Gelenksteife, Nervenverletzungen und Gelenksluxationen ist eine regelmäßige, effektive Physiotherapie unumgänglich. Wie überall in der Physiotherapie sollte über allen Maßnahmen der Böhler-Grundsatz „keine Übung darf Schmerzen bereiten“ stehen!

### Verlängerungsphase (nach Entlassung aus der Klinik):

In der Verlängerungsphase wird das Bein mit ca. 1 mm pro Tag (bei kombinierter Ober- und Unterschenkelverlängerung 2 mm pro Tag) kontinuierlich verlängert. Die Osteosynthese ist **übungsstabil** und darf mit **20 kg teilbelastet** werden. In dieser Phase beginnt die eigentliche Therapie, die mit einer Frequenz von **3-4 mal pro Woche** für mind. 1 Stunde angesetzt werden sollte. Zu den folgenden Behandlungszielen werden die gekennzeichneten Maßnahmen empfohlen:

1. Verbesserung bzw. der Erhalt der Gelenkbeweglichkeit, insbesondere der
  - Knieextension (immer!) und Knieflexion.
  - Dorsalextension im oberen Sprunggelenk
  - Extension im Hüftgelenk besonders bei Oberschenkelverlängerung
  - Supination im unteren Sprunggelenk besonders bei Unterschenkelverlängerung
  - Techniken aus der Manuellen Therapie
  - Aktiv-assistive Mobilisation
  - Negativlagerung in Kombination mit Wärme (Cave: Scherkräfte!!!)
  - Schlingentisch

*Achtung: Ein Extensionsverlust im Kniegelenk von über 10° und ein Dorsalextensionsverlust im OSG über die Neutralstellung hinaus (fixierter Spitzfuß) kann zu einem **Abbruchkriterium** für die Verlängerung werden!!!*

2. Lockerung und Dehnung der Muskulatur, insbesondere
  - der ischiocruralen Muskulatur
  - des M. quadriceps femoris, einschließlich Patellamobilisation
  - des M. triceps surae mit Achillessehne
  - des M. tibialis posterior
  - Aktive und Passive Dehnungen besonders der oben genannten Muskulatur. Anschließend Antagonistenaktivierung. Anleitung zur Eigendehnung als Hausaufgabenprogramm.
  - Querdehnungen, funktionelle Massage in Kombination mit Wärme und heißer Rolle
  - Druckpunktbehandlung (Tender- und Triggerpoints)
3. Anregung des Lymphabflusses
  - Lymphdrainage
  - Kompressionsbehandlung
4. Atrophieprophylaxe und Stabilisierung
  - Isometrie, Übungen in geschlossener Kette
  - Nur leichte Tonisierung, Atrophieprophylaxe

---

5. Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination sowie Propriozeption

- PNF ohne Widerstände
- Sitz auf dem Pezziball mit Waage unter den Füßen zur Belastungskontrolle

6. Nervenmobilisation (N. ischiadicus, N. femoralis, N. peroneus)

- Techniken der manuellen Medizin zur Wiederherstellung der Neurodynamik, indem der betroffene Nerv durch Beugung der entsprechenden Gelenke in gerade noch schmerzfreie Dehnung gebracht und dann von proximal entspannt wird.
- Verschieben des Nerven gegen die Unterlage oder Hüllstrukturen durch wiederholte kleine Bewegungen des distalen oder proximalen Gelenkes bis zum Auftreten leichter Dehnschmerzen.

7. Gangschulung

- Verbesserung der Symmetrie
- Verbesserung der Rhythmik und der Koordination mit Unterarmgehstützen unter Berücksichtigung der Teilbelastung von 20 kg)

8. Anleitung eines effektiven Heimübungsprogrammes

- Lagerung
- Muskeldehnungen
- Isometrische Übungen

### Konsolidierungsphase (nach Ende der Verlängerung):

Nach Abschluss der Verlängerung braucht der Knochen noch einmal die doppelte bis dreifache Verlängerungszeit um mechanisch stabil zu werden. In dieser Zeit besteht weiterhin **Übungsstabilität** mit max. **20 kg Teilbelastung**. Die Therapiefrequenz kann je nach funktionellem Ergebnis auf **2-3 mal pro Woche** reduziert und muss immer durch das Heimübungsprogramm ergänzt werden. Oberstes Ziel bleibt die Wiederherstellung der präoperativen Gelenkbeweglichkeit.

- Weiterführung aller Therapieinhalte der Verlängerungsphase
- Mit zunehmender Beweglichkeit Verlagerung des Therapieschwerpunktes in Richtung funktionelle Kräftigung unter Beachtung der Teilbelastung
- Isometrie, PNF ohne Rotationswiderstände, FBL, Übungen in geschlossener Kette

### Postkonsolidierungsphase (nach Erreichen der Vollbelastbarkeit):

Wenn der Knochen vollständig durchbaut ist, wird von dem Operateur die **Vollbelastung** freigegeben. In dieser Phase steht der Muskelaufbau im Vordergrund. Die Gelenkbeweglichkeit ist zu diesem Zeitpunkt meist schon wie vor der Distraktionsbehandlung manchmal sogar schon besser. Sehr wichtig ist jetzt das Erlernen eines normalen Ganges ohne Unterarmgehstützen, insbesondere bei den Patienten mit angeborener oder wachstumsbedingter Beinverkürzung, die zuvor nie gelernt haben, mit 2 gleichlangen Beinen zu laufen.

- Muskelaufbau
- Progressives funktionelles Muskeltraining bis hin zum Ausgangskraftwert
- KG an Geräten (MTT)
- Verbesserung der Propriozeption (Therapiekreisel, Weichbodenmatte u.ä.)
- Gangschulung (Verbesserung der Symmetrie, Rhythmik und Koordination bei Spiegelkontrolle)

## Therapieverlauf:

(Wird vom Referenzbehandler ausgefüllt)

Datum der Untersuchung:

Name:

### Gelenkbeweglichkeit:

Knie: Extension/Flexion \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

OSG: Extension/Flexion \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Hüfte: Extension/Flexion \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

USG: Pronation/Supination \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Funktionstest s. Beiblatt; Muskeltonus mit 0,+,++,+++ bewerten, Umfangmessung in cm

Funktionstests		Muskeltonus		Umfangmessung	
Ischiocrurale Musk.	°	Ischiocrurale Musk.		KG-Spalt	cm
FBA	cm	Tractus iliotibialis		10 cm prox. KG-Spalt	cm
M. iliopsoas	°	M. triceps surae		10 cm dist. KG-Spalt	cm
Patellabeweglichkeit		Achillessehne		OSG	cm
M. gastrocnemius	°	Zehenflexoren		10 cm prox. OSG	cm
M. Tib. Post.	°	M. quadriceps fem.			

Schmerzen: (Skala von 0 = keine Schmerzen, bis 10 = extreme Schmerzen) \_\_\_\_\_

### Empfehlungen:

Schwerpunkt der Behandlung: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Therapieschwerpunkt bitte ankreuzen:

Muskeldehnungen		Motorschine		Negativlagerung	
Manuelle Therapie		Nervmob.		Schlingentisch	
Weichteiltechniken		PNF		Eisbehandlung	
Isometrie		Patellamobilisation		Heimübungsprogramm	
Lymphdrainage		Koordinationstraining			
Wärme (Heiße Rolle)		Narbenbehandlung			
Gangschulung		Druckpunktbehandl.			

### Sonstige Empfehlungen:

- ( ) Ergometrie (Radfahren)
- ( ) Physiofeedback
- ( ) Isokinetische Mobilisation
- ( ) Gerätegestütztes Krafttraining

Optimale Therapiefrequenz: \_\_\_\_\_ / Woche

Quengelschiene erforderlich: *nein* / *ja*

Wenn ja: Begründung: \_\_\_\_\_

### Empfehlungen durch den Operateur:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Bitte vom Therapeuten ausfüllen:

**Behandlung von:**                      **bis:**

Bitte bewerten Sie folgende Therapiemaßnahmen nach der Häufigkeit der Anwendung und nach der Effektivität auf einer Skala von 0 bis 5

Therapieform	Häufigkeit	Effektivität
• Aktive und passive Dehnungen		
• Manuelle Therapie		
• Weichteiltechniken		
• Isometrie, funkt. Kräftigung		
• Lymphdrainage		
• Wärmeanwendung		
• Gangschulung		
• Motorschiene (CPM)		
• Nervenmobilisationstechniken		
• PNF		
• Patellamobilisation		
• Koordinationstraining		
• Narbenbehandlung		
• Druckpunktbehandlungen		
• Negativlagerung		
• Schlingentisch		
• Heimübungsprogramm		
Sonstige:		

Schwerpunkt der Behandlung	<b>5</b>
Wurde sehr oft angewendet	<b>4</b>
Wurde öfter angewendet	<b>3</b>
Wurde manchmal angewendet	<b>2</b>
Wurde selten angewendet	<b>1</b>
Wurde gar nicht angewendet	<b>0</b>

Effektivste Therapieform	<b>5</b>
Sehr effektiv	<b>4</b>
Effektiv	<b>3</b>
Kaum effektiv	<b>2</b>
Uneffektiv	<b>1</b>
Kontraproduktiv	<b>0</b>

Was war das vorrangige Ziel Ihrer Behandlung?

---



---

Welche Therapieinhalte kamen zur Anwendung?

---



---

Mit welchen Maßnahmen konnte das Therapieziel am effektivsten erreicht werden?

---



---

Besondere Vorkommnisse / Auffälligkeiten im Befund?

---



---

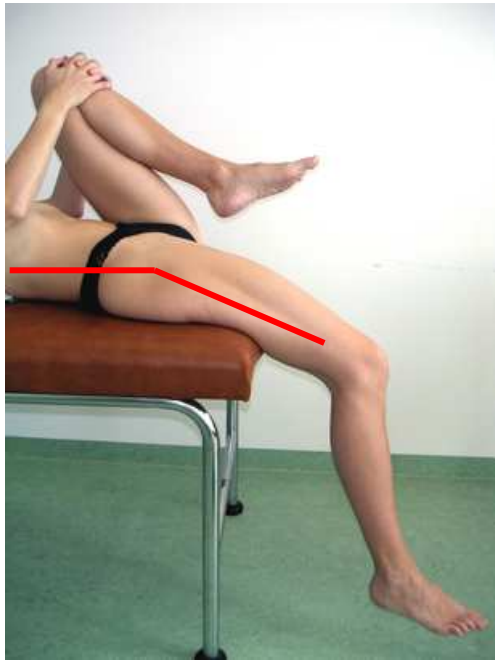
Fragen / Anregungen?

---



---

## Untersuchungstechniken:

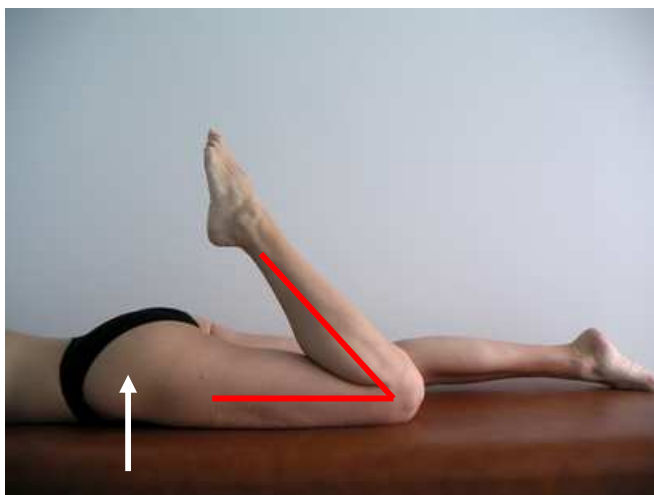


### **M. Iliopsoas:**

Der Patient sitzt am Ende der Behandlungsbank. Die Oberschenkel liegen nur zur Hälfte auf dem Tisch. Er umfasst das kontralaterale Bein und zieht es auf den Bauch (Thomas-Handgriff). Jetzt legt er sich auf den Rücken. Gemessen wird die Extensionsfähigkeit im Hüftgelenk in Winkelgraden bei entspanntem Kniegelenk.

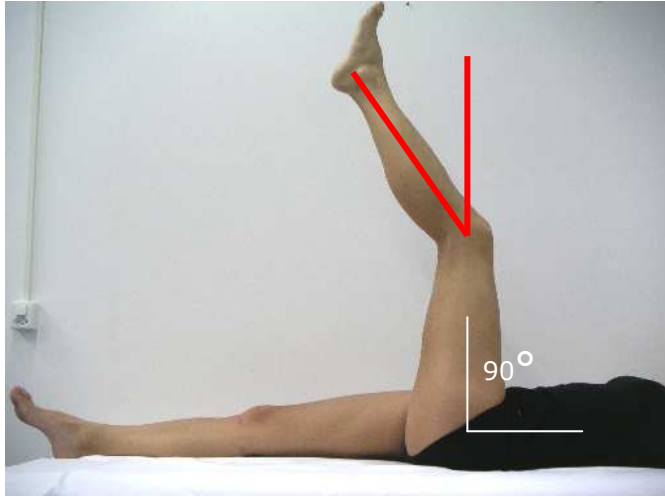
### **M. rectus femoris:**

Der M. rectus femoris kommt in Dehnstellung indem der Patient bei gleicher Ausgangsstellung wie beim M. iliopsoas beschrieben (Thomas-Handgriff) bei Nullstellung im Hüftgelenk das Kniegelenk maximal flektiert. Hier wird die Knieflexion in Winkelgraden gemessen.



### **Ely's Test:**

In Bauchlage wird das Kniegelenk des Patienten langsam flektiert. Gemessen wird die Winkelstellung im Knie, bei der der Patient eine Ausweichbewegung in Richtung Flexion im Hüftgelenk macht.



### Ischiocrurale Muskulatur:

Ausgangsstellung ist die Rückenlage. Das Hüftgelenk des Patienten wird bei extendierter kontralateraler Seite in 90° Flexion bei Abduktions- / Adduktionsnullstellung eingestellt. In dieser Stellung wird das Kniegelenk der zu messenden Seite maximal extendiert. Gemessen wird das Extensionsdefizit des Knies in Winkelgraden.



### Finger-Boden-Abstand

In der Ausgangsstellung Stand mit maximal nach vorne flektiertem Oberkörper wird der Abstand zwischen den ausgestreckten Fingerspitzen und dem Boden in Zentimetern gemessen.

### M. gastrocnemius:

In Rückenlage wird bei Nullstellung im Knie- und Hüftgelenk die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen.

### M. soleus:

In Bauchlage wird bei 90° flektiertem Kniegelenk die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen.



### **M. tibialis posterior:**

Ausgangsstellung ist wie bei Messung des M. soleus. Gemessen wird eine kombinierte Dorsalextensions- und Pronationsbewegung im Sprunggelenk in Winkelgraden.

### **M. tibialis anterior:**

In Rückenlage bei Nullstellung im Hüftgelenk und Kniegelenk wird die Plantarflexion in Kombination mit Pronation im Sprunggelenk in Winkelgraden gemessen.

### **Mm peronei:**

Ausgangsstellung wie bei M. tibialis anterior. Gemessen wird die kombinierte Plantarflexions- und Supinationsbewegung im Sprunggelenk in Winkelgraden.



### **Test der Patellabeweglichkeit:**

In Rückenlage bei Nullstellung im Kniegelenk wird die Patella hinsichtlich ihrer Verschieblichkeit nach medial / lateral und krania / kaudal beurteilt. Die Beweglichkeit wird auf einer Skala von 0 = keine Bewegung möglich bis 5 = normale Beweglichkeit eingestuft.